

Vergleichende Untersuchungen über die Eigenschaften und die Verwendungsmöglichkeiten von Hainbuchenholz aus dem Iran und Süddeutschland

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt
von

Huschang Sagheb

1975



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551907_0051

Vergleichende Untersuchungen über die Eigenschaften und die Verwendungsmöglichkeiten von Hainbuchenholz aus dem Iran und Süddeutschland

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt
von
Huschang Sagheb

1975



Referent: Prof. Dr. Hubert Freiherr von Pechmann

Korreferent: Prof. Dr. Horst Schulz

Tag der mündlichen Prüfung: 23.7.1975

VORBEMERKUNG

=====

Die Anregung zu dieser Arbeit erhielt ich durch meinen verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. H. FREIHERRN VON PECHMANN, bis 1974 Direktor des Instituts für Holzkunde und Forstnutzung der Forstlichen Forschungsanstalt in München, dem ich an erster Stelle für sein wohlwollendes Interesse und die großzügige Förderung meiner Arbeit danken möchte.

Besonderen Dank schulde ich der Akademischen Oberrätin, Dr. H. FREIIN VON UND ZU AUFSCESS für ihre wertvollen Ratschläge, vor allem bei der sprachlichen Überarbeitung. Wertvolle Unterstützung fand ich auch bei allen anderen Mitarbeitern des Instituts für Holzkunde. Frau E. GRAESSLE war mir bei der Herstellung der Mikroschnitte, der Mikrophotos und bei den mikroskopischen Untersuchungen behilflich, und Herr M. ELSAESSER hat mich bei der Durchführung der Festigkeitsprüfungen unterstützt. Die Zurichtung der Untersuchungsproben wurde von Herrn K. SCHREMBBS sehr sorgfältig vorgenommen. Frau Ch. LIED und Frau M. IRTHALER haben mir häufig bei sprachlichen Schwierigkeiten beigestanden. Ihnen allen danke ich herzlich.

Frau Dr. M. ALCUBILLA, Frau Ch. LIED sowie Herrn Ing. OPPERENDEK sei außerdem für die Mithilfe bei der Übersetzung fremdsprachlicher Literatur gedankt.

Ein Teil der Untersuchungen konnte am Institut für Holzforschung durchgeführt werden. Hierfür sowie für die Bereitstellung des notwendigen Materials darf ich meinen verbindlichen Dank aussprechen.

Herrn Ing. SANZI sowie Herrn Dr. ÖZEN aus Trabzon (Türkei), die mir ebenfalls bei der Durchführung der Untersuchungen behilflich waren, sei bestens gedankt.

Herrn Dr. E. KENNEL vom Institut für Waldwachstumskunde gebührt an dieser Stelle mein aufrichtiger Dank für seine

Unterstützung bei der Programmierung und der Auswertung des umfangreichen Datenmaterials mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung.

Das deutsche Untersuchungsmaterial wurde mir vom Bayerischen Forstamt Ebrach, dem Fürstlich und Gräflisch Fugger'schen Stiftungsforstamt Laugna und dem Baden-Württembergischen Forstamt Steinbach kostenlos zur Verfügung gestellt. Den beteiligten Forstverwaltungen sowie den Herren Amtsvorständen danke ich für ihre Unterstützung.

Die Vorbereitung und Durchführung der Tränkversuche wurde dankenswerterweise von der Firma G.A. PFLEIDERER in Neumarkt/Oberpfalz sowie der Dr. WOLMAN GmbH in Sinzheim bei Baden-Baden, übernommen, die Schälversuche konnten in der Staatlichen Technikerschule in Rosenheim durchgeführt werden. Den Leitern der genannten Firmen bzw. dem Direktor der Staatlichen Technikerschule sowie allen beteiligten Mitarbeitern sei ebenfalls bestens gedankt. Verbindlichen Dank sage ich auch Herrn Dr. DJASIREI, Vizepräsident des Ministeriums für Landwirtschaft und Naturschätze im Iran für die Genehmigung zur Entnahme von Probematerial und Herrn Dr. MEHDIZADEH beim gleichen Ministerium Leiter der Forschungsgemeinschaft sowie dessen Stellvertreter, Herrn BONWAN, für ihr verständnisvolles Entgegenkommen bei der Gewinnung des Untersuchungsmaterials sowie für die Übernahme aller Unkosten.

Herr Ing. FESHARAKI stand mir bei der Auswahl der Untersuchungsflächen mit Rat und Tat zur Seite. Ihm, den Angehörigen der zuständigen Forstämter und besonders den Waldarbeitern möchte ich herzlich danken.

INHALTSÜBERSICHT

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. GEOGRAPHIE, KLIMA UND WALDVERBREITUNG IM IRAN	2
2.1 Geographie	2
2.2 Klima	3
2.3 Die Wälder des Iran	6
2.3.1 Die Verbreitung der Wälder	6
2.3.2 Wuchsgebiete und Waldtypen	8
2.3.3 Die kaspischen Wälder	11
2.3.4 Der Anteil der Hainbuche am Holzvorrat der kaspischen Wälder	15
3. DIE HOLZEIGENSCHAFTEN DER HAINBUCHE	18
3.1 Bisherige Untersuchungen über die Holzeigenschaften der Hainbuche	18
3.2 Material und Methode	20
3.2.1 Die Auswahl des Materials	20
3.2.2 Beschreibung der ausgewählten Untersuchungsgebiete und Bestände	24
3.2.3 Die Aufbereitung des Untersuchungsmaterials und angewandte Prüfverfahren	40

3.2.4	Statistische Auswertungen	42
3.3	Untersuchungsergebnisse	45
3.3.1	Anatomische Eigenschaften des Hainbuchenholzes	45
3.3.1.1	Makroskopische und mikroskopische Merk- male	45
3.3.1.2	Gewebedichte und Ver- holzungsgrad	53
3.3.2	Die Rohdichte der Hainbuche	58
3.3.2.1	Literaturangaben	58
3.3.2.2	Die Rohdichte des deut- .. schen und persischen Untersuchungsmaterials	59
3.3.2.3	Variation der Rohdichte .. in verschiedenen persi- schen Wuchsgebieten	61
3.3.2.4	Stammweise Rohdichteun- .. terschiede	67
3.3.2.5	Verteilung der Rohdich- .. te innerhalb der Ein- zelstämme	71
3.3.3	Das Hygroskopische Verhalten des Hainbuchenholzes	76
3.3.3.1	Ergebnisse der Volumen- .. schwindmaße und ihre Beziehung zur Rohdichte	76
3.3.3.2	Schwindungsanisotropie ...	83.
3.3.4	Die mechanischen Eigenschaften ... des Hainbuchenholzes	86
3.3.4.1	Druckfestigkeit in Faserrichtung	86

	Seite
3.3.4.2 Druckwiderstand quer.....	97
zur Faserrichtung	
3.3.4.3 Biegefestigkeit und	102
Biege-E-Modul	
3.3.4.4 Schlagbiegefestigkeit	114
und dynamische Kennzahl	
 4. VERWENDUNGSMÖGLICHKEITEN VON HAINBUCHEN-	 122
HOLZ	
 4.1 Bisherige Erfahrungen über die Ver-	 122
arbeitung von Hainbuchenholz aus	
der Holzindustrie und nach Litera-	
turangaben	
4.1.1 Die Verarbeitung von Hain-	122
buchenschnittholz	
4.1.2 Die Herstellung von Span-	125
platten	
4.1.3 Die Zellstoffherstellung	129
4.1.4 Die Holzverkohlung	132
 4.2 Eigene Untersuchungen über die	 134
Brauchbarkeit des Hainbuchenholzes	
zur Herstellung von Sperrholz und	
Eisenbahnschwellen	
4.2.1 Die Eignung des Hainbuchen-	135
holzes für die Sperrholzpro-	
duktion	
4.2.1.1 Schälversuch	135
4.2.1.2 Herstellung von Fur-	137
nierplatten	
4.2.1.3 Die Prüfung der Fur-	138
nierplatten	

	Seite
4.2.2 Tränkversuche als Voraus-	141
setzung für die Verwendung	
der Hainbuche als Schwellen-	
holz	
4.2.2.1 Teerölimprägnierung	141
4.2.2.2 Schutzsalzimpregnie-	146
rung	
5. DISKUSSION DER ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOL-	151
GERUNGEN	
LITERATURVERZEICHNIS	161

1. E I N L E I T U N G

=====

Wie in anderen alten Kulturländern der Erde führte auch in Persien die Nutzung der Wälder zur fortschreitenden Vernichtung großer Waldflächen. Der Holzbedarf wurde bis vor kurzem vorwiegend aus Privatwaldungen durch planlosen Einschlag gedeckt, wobei sich das Interesse der Waldbesitzer natürlich fast ausschließlich auf den augenblicklichen materiellen Nutzen und nicht auf die Erhaltung des Waldes konzentrierte. Dies hatte nicht nur eine starke Reduzierung der bewaldeten Flächen zur Folge - sie nehmen heute weniger als 10 % der Gesamtfläche des Landes ein - sondern führte auch zur einseitigen und übermäßigen Nutzung bestimmter Holzarten, deren Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten bekannt waren und deren Einschlag daher wirtschaftlich interessant erschien. Andere, ebenfalls verbreitete Arten, über deren physikalische und mechanische Eigenschaften noch wenig bekannt ist, blieben ungenutzt.

Da man sich inzwischen über die katastrophalen Folgen der Entwaldung auf Klima, Wasserhaushalt und Boden im Klaren ist, sollte durch die vor ca. 12 Jahren durchgeführte Verstaatlichung der Wälder und die etwa 6 Jahre später erfolgte Gründung eines eigenen Ministeriums für Naturschätze sowie einer forstlichen Fakultät an der Universität Teheran in Karadj eine Wende dieser Entwicklung eingeleitet werden. Eine wichtige Voraussetzung für weitere Maßnahmen ist zunächst die Verbesserung der Walderschließung, um namentlich auch die nur unzulänglich erschlossenen nutzholzreichen Gebiete des Nordirans zu nutzen. Darüber hinaus erscheint es dringend erforderlich, die Kenntnisse über die Holzeigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten einer Reihe bisher vernachlässigter Baumarten zu erweitern, um ihre Verwertung sicherzustellen und vorhandene Reserven auszuschöpfen. Als Folge davon können sicherlich vielerorts die waldbaulich erforderlichen Pflegeeingriffe auch wirtschaftlich sinnvoll gestaltet werden. Die Hainbuche ist zweifellos als wichtigste der noch weitgehend

ungenutzten Holzarten im Iran zu bezeichnen. Sie stellt mit 100 Mill. m³ etwa ein Drittel des Holzvorrats der Kaspischen Wälder, dem wirtschaftlich bedeutendsten Waldgebiet des Iran, während ihr Einschlag mit nur 5 % des jährlichen Hiebssatzes dazu in keinerlei Verhältnis steht. Um diese bisher kaum beachteten Holzvorräte einer wirtschaftlich interessanten Verwertung zuzuführen, sollen in der vorliegenden Arbeit die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Hainbuchenholzes bestimmt und sein Verhalten bei einigen Arten der Verarbeitung und im Zusammenhang damit bei der Tränkung mit Teeröl und Schutzsalzen geprüft werden. Aus den gefundenen Ergebnissen lassen sich sicherlich brauchbare Schlußfolgerungen für einige geeignete Verwendungsmöglichkeiten ableiten.

2. GEOGRAPHIE, KLIMA UND WALDVER- =====

BREITUNG IM IRAN

=====

2.1 Geographie

Der Iran, ein Land mit besonders großen landschaftlichen und klimatischen Gegensätzen, umfaßt eine Fläche von rund 1.648 Millionen qkm. Wie die topographische Karte (Abb. 1) veranschaulicht, erhebt sich zwischen dem Kaspischen Meer im Norden und dem Persischen Golf im Süden ein ausgedehntes, von Senken durchzogenes Plateau mit einer durchschnittlichen Höhe von 1000 m über dem Meeresspiegel. Es wird im Norden und Westen von mächtigen Gebirgszügen eingerahmt, deren höchste Erhebungen über 5000 m erreichen. Jenseits dieser Berge finden sich im Norden und Westen tiefgelegene Küstenstreifen, von denen besonders der grünen Ebene nördlich des Elbursgebirges am Kaspischen Meer (tiefster Punkt: 28 m unter dem Meeresspiegel!) wegen ihrer Fruchtbarkeit überragende Bedeutung zukommt. Die Gebiete von Süd-, Zentral- und Ost-Iran

weisen wechselnde Landschaftsformationen auf: Das Hochgebirge wird abgelöst von Mittelgebirgs- und Vorgebirgslandschaften, welche die landwirtschaftlichen und kulturellen Zentren enthalten - der größte Teil der Fläche wird jedoch von weiten ebenen Steppen und Wüsten eingenommen, die den Herden der Nomaden als Weideland dienen oder unbewohnbar sind.

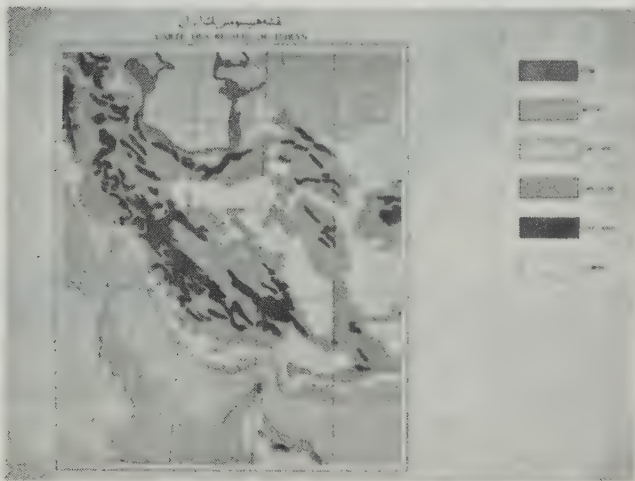


Abb. 1 Topographische Karte des Iran

2.2 Klima

Die topographische Vielfalt des Landes hat die Ausbildung verschiedenartiger Klimazonen zur Folge, deren Verteilung aus der Abb. 2 zu ersehen ist. Dementsprechend ist die Variationsbreite von Niederschlagsmengen und Temperaturen auffallend groß. Eine Reihe von Autoren hat zur Erfassung der sehr unterschiedlichen Klimatypen beigetragen und sie nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt. SABETI (1969) verwendet hierfür beispielsweise eine Kombination von klimatischen und pflanzengeographischen Elementen, während ADL (1960)

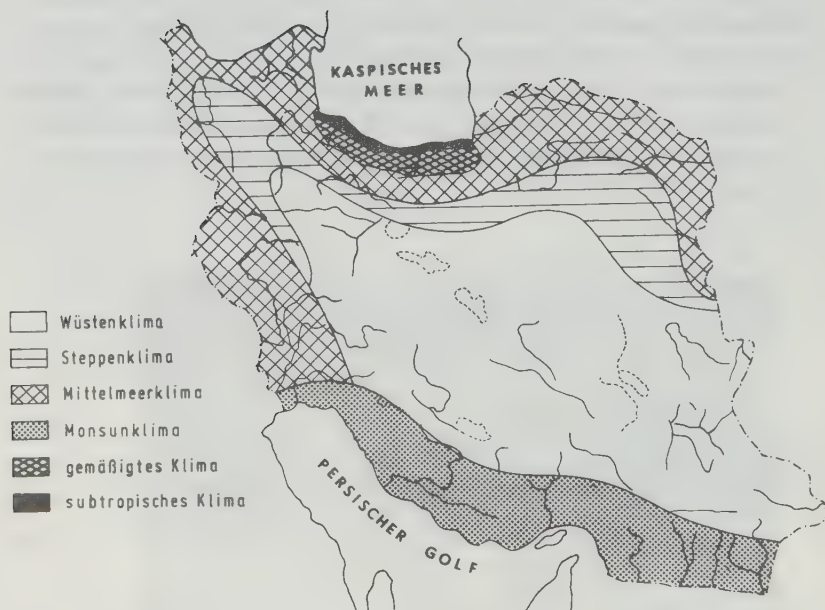


Abb. 2 Klimazonen im Iran

die geographische Lage zugrunde legt. Er unterscheidet 6 Klimazonen, deren Daten in der Tabelle 1 wiedergegeben werden.

Für die Küstenstreifen am Kaspischen Meer im Norden mit den angrenzenden Gebirgshängen des Elbursgebirges sind hohe durchschnittliche Jahrestemperaturen ($15-18^{\circ}\text{C}$) und hohe Niederschlagsmengen (bis über 2000 mm im Jahr) typisch, die teils im Winter, zum überwiegenden Teil aber in der Vegetationszeit fallen. Besonders klimatisch begünstigt ist die

Tabelle 1 (nach ADL 1960)

Gebiet	Jahresdurchschnitt		Temperaturextreme	
	Nieder- schlag in mm	Tempe- ratur in C°	Max.	Min.
Nordiran	700-1100	15-18	36.0	- 7
Nordwest- und Hochgebirge des Nordiran	2000	15-18	31.5	-24.5
Nordost- und Ostiran	300-500	17.9	42.5	- 9.6
Westiran	300-500	13.0	37.0	-16
Südiran	200-300	25.0	45.0	5.5
Zentraliran	bis 100	18.0	46.0	-20

Kaspische Tiefebene, in der z.T. subtropische Vegetation gedeiht. Im Westen und Nordwesten des Landes herrscht durch den Einfluß des Schwarzen Meeres teilweise mediterranes Klima. Die angrenzenden hohen Gebirgszüge des Sagrosgebirges, sowie im Norden des Elbursgebirges schirmen das Hinterland gegen die von den Meeren eindringende Feuchtigkeit ab, so daß weite Teile des Landes, namentlich im Zentral- und Ostiran aufgrund geringer Niederschlagsmengen (oft sogar unter 100 mm im Jahr) und starker Verdunstung sowie der hohen Tagestemperaturen von Steppen- und Wüstenklima beherrscht wird. Die Temperaturschwankungen sind hier relativ groß und langdauernde Dürrezeiten während der Vegetationszeit bedingen die Spärlichkeit oder sogar den Ausfall jeglicher Vegetation. Die gegenüber dem Zentraliran milderen und regenreicheren Winter, in denen die Temperatur selten unter 0° C

fällt, sowie sehr heiße Sommer mit Temperaturen bis über 45° und dementsprechend hoher Verdunstung sind charakteristisch für das Klima in Südpersien. Die Vegetation der Südküste schließlich wird bestimmt durch etwas regenreichere Sommer und frostfreie, relativ warme Winter mit nur geringen Schwankungen der Temperatur.

Ausführliche Angaben über die Entwicklung des Klimas im Iran von der vorgeschichtlichen Zeit bis in die Gegenwart finden sich auch in einer größeren Arbeit von BOBEK und SPREITZER (1955).

2.3 Die Wälder des Iran

2.3.1 Die Verbreitung der Wälder

Die geographische Lage des Iran und die bereits genannten verschiedenartigen Klimabedingungen sind für die Ausformung gegensätzlicher Vegetationstypen und Pflanzengesellschaften verantwortlich und wirken sich dementsprechend sehr wesentlich auf die Waldverteilung und die Zusammensetzung der Wälder aus. Nach der iranischen Forststatistik sind 18 Millionen ha mit Wald bestockt, das entspricht einem Bewaldungsprozent von 11%. Die FAO hingegen hat ihren Schätzungen nur eine Gesamtwaldfläche von 12 Millionen ha zugrundegelegt, das sind 7,3% der Landesfläche. Die Differenzen der statistischen Angaben lassen sich dadurch erklären, daß sich die Wälder gegenüber Nichtwaldflächen nicht immer eindeutig abgrenzen lassen, insbesondere im Bereich der Savannen, Steppen oder Buschwälder. Besonders auffällig treten diese Differenzen bei der Vermessung der Eichenwälder in Erscheinung, deren Bestockungsfläche einmal mit 10 Millionen ha, im anderen Fall mit 5 Millionen ha angegeben wird. Über die Unterschiede der Bewaldungsdichte gibt die Abbil-

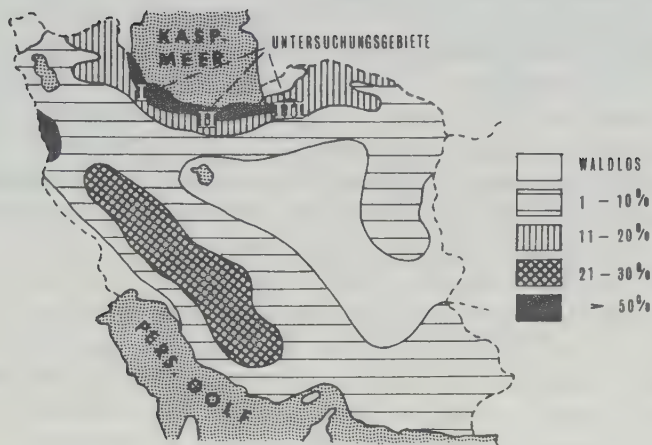


Abb. 3 Die Bewaldungsdichte im Iran
(nach HESKE 1951)

dung 3 Aufschluß, die dem Weltforstatlas von HESKE (1951) entnommen ist. Sie zeigt die größten Bewaldungsprozente an der Küste des Kaspischen Meeres und an den Nordhängen des Elbursgebirges in den Provinzen Gilan und Mazenderan, aus denen die Probestämme für die vorliegende Arbeit gewonnen wurden. Größere Waldanteile sind sonst nur noch an den Nordhängen im Gebiet des Sagrosgebirges zu finden, die übrigen Landesteile sind nur schwach oder überhaupt nicht bewaldet. Nähere Angaben über die heutige Situation der Forstwirtschaft im Iran und ihre Probleme finden sich u.a. in den Ausführungen von YACHKASCHI (1968-1971) und SARIKHANI (1971).

2.3.2 Wuchsgebiete und Waldtypen

Eine Erfassung und Gliederung der verschiedenen Waldtypen wurde von mehreren Autoren durchgeführt.

K. SAIE (1942) klassifizierte die Wälder nach landschaftlichen und klimatischen Gegebenheiten in sechs Gebiete, während DJAZIREI (1962), der hauptsächlich die Niederschlagsverhältnisse berücksichtigt, drei übergeordnete Zonen nämlich eine "trockene", eine "halbtrockene" und eine "feuchte" Zone unterschied, und diese jeweils noch weiter unterteilte. Im Jahr 1970 veröffentlichten MOBAYEN und TREGUBOV als Ergebnis 10jähriger Forschungsarbeit eine Vegetationskarte und einen eingehenden dreisprachigen Führer. Sie teilen den Iran in vier Floristische Regionen ein und beschreiben die in den einzelnen Regionen vorkommenden Vegetationstypen. Abb. 4 zeigt eine schematische Darstellung dieser Vegetationstypen in verschiedenen Höhenlagen.

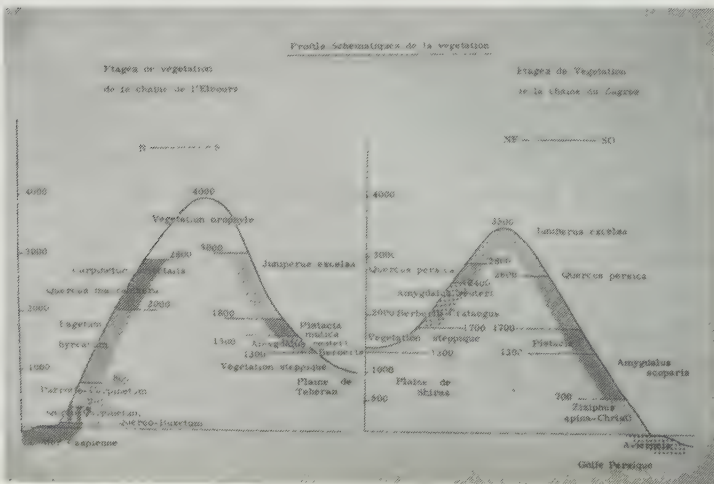


Abb. 4 Schematische Darstellung der unterschiedlichen Vegetationstypen

In den Erhebungen der Waldflächen Persiens durch die iranische Forstverwaltung (1965) und durch die FAO (TREGUBOV, 1961) werden sechs Waldformationen unterschieden (siehe Tabelle 2 und Abb. 5).

Tabelle 2 Die Waldflächen des Iran nach der Statistik der iranischen Forstverwaltung und der FAO

Waldformationen	Fläche in Millionen ha	
	Nach Angaben der Forstverwaltg.	Nach FAO-Schätzungen
1 Kaspische Wälder	3.4	3.4
2 Eichenwälder	10.0	5.0
3 Pistazienwälder	2.4	1.5
4 Wacholderwälder	1.2	1.1
5 Mangrovenwälder	0.5	0.5
6 Salzwüstenbuschwälder	0.5	0.5
Gesamtfläche	18.0	12.0

Vom Standpunkt der Forst- und Holzwirtschaft kommt lediglich den Wäldern im Bereich des Kaspischen Meeres größere Bedeutung zu, sie werden später ausführlicher besprochen. Die übrigen nach den Angaben ADELIS (1972) hier kurz beschriebenen Wälder des Landes sind dagegen hauptsächlich in landeskultureller Hinsicht (Schutz gegen Erosion, Regelung des Wasserhaushalts, Bildung von Trinkwasserreserven) wertvoll.

Die Eichenwälder, die sich von Nordwesten über das Sagrosgebirge bis über Schiras im Süden erstrecken, bestehen überwiegend aus lichten Trockenwäldern, die vielfach aus Stockausschlägen entstanden und teilweise stark durch Weideflächen oder Ackerland aufgelockert sind. Hier ist die Beurteilung,

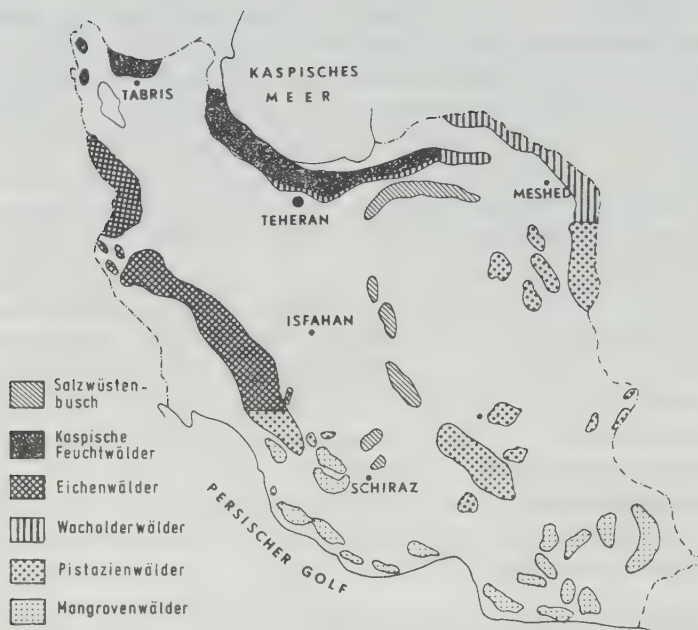


Abb. 5 Die verschiedenen Waldformationen im Iran

ob es sich um Waldflächen handelt oder nicht, besonders schwierig. Die häufigste Baumart ist *Quercus persica*, deren Früchte eßbar sind, es finden sich aber auch andere Eichenarten und sonstige Laubbaumarten, wie z.B. Pistazien.

Pistazienwälder, die sehr widerstandsfähig gegen Trockenheit und Hitze sind, besiedeln vor allem die niederschlagsarmen Gebiete von Süd- und Ostiran. Außer *Pistacia mutica*, *Pistacia vera* und *Pistacia Khijuk* wachsen nach BOBEK (1951) dort auch *Amygdalus*arten (wilde Mandelbäume, deren Früchte aber ebenso wenig eßbar sind wie die der wilden Pistazien).

Auch hier ist die Bestockung meist so licht und die Baumhöhe so gering, daß die Bezeichnung "Wald" zumindest angefochten werden kann. Die statistischen Angaben der iranischen Forstverwaltung weisen 2,4 Millionen ha, die FAO dagegen nur 1,5 Millionen ha dieses Waldtyps aus.

Die im Elbursgebirge und in den trockenen Kalkgebirgen des Nordens vorkommenden Wacholderwälder sind meist ebenfalls sehr licht und niedrig. Neben *Juniperus excelsa* finden sich dort weitere *Juniperus*-arten, häufig in Mischung mit Laubbaumarten wie Birke, Walnuss und Schwarzpappel.

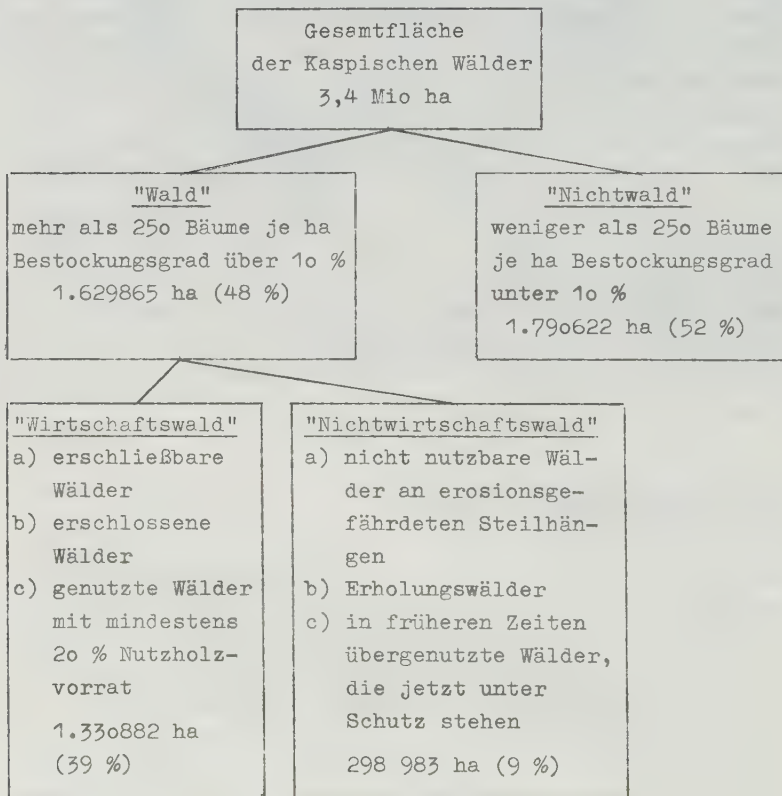
Geringe Vorkommen von Mangrovenwäldern mit *Avicennia officinalis*, *Ziphus spinachristi* u.a. gibt es hauptsächlich am Persischen Golf und am Golf von Aman. An den Rändern der Salzwüsten gedeihen noch xerophyle Arten wie Tamarisken, *Haloxylon*, *Callogonium* und so weiter, sie bilden die lockeren Bestände der sogenannten Buschwälder, die zwar kaum als Wälder im eigentlichen Sinn zu bezeichnen sind, deren Wert als Schutz gegen Erosion und das Vordringen der Wüste jedoch kaum überschätzt werden kann.

2.3.3 Die Kaspischen Wälder

Wie bereits erwähnt finden sich die forstwirtschaftlich wichtigsten Wälder mit großen Nutzholzvorräten in der durch Klima- und Bodenverhältnisse am meisten begünstigten Zone des Landes, nämlich in der Tiefebene am Kaspischen Meer und an den angrenzenden Nordhängen des Elbursgebirges. Sie erstrecken sich in einer Länge von rund 1000 km und einer Breite von etwa 30 km entlang der Küste und bedecken eine Fläche von ca. 3,4 Millionen ha. Nach statistischen Untersuchungen über die Nordwälder des Irans (1966, 1968) und dem Programm über Schutz, Aufforstung und Nutzung der Persischen Wälder für die Jahre 1973-1977 (1972) ist diese

Fläche allerdings nur etwa zur Hälfte gut bestockt und davon können wiederum nur 39 % als wirtschaftlich nutzbar gelten (siehe nachfolgende Übersicht).

Übersicht über den Anteil von Wald- und Nichtwaldflächen in den Kaspischen Wäldern



Ein bedeutender Teil des früheren Waldbestandes wurde durch zu starke Ausbeutung, aber auch durch landwirtschaftliche Nutzung des Bodens, wie zum Beispiel Weidewirtschaft und Tee- oder Reisanbau zerstört.

Über den Wechsel der Baumartenverteilung und Pflanzengesellschaften je nach Höhenlage der Wälder finden sich bei TREGUBOV (1967) ausführliche Angaben. Das Waldgebiet der Kaspischen Ebene, die nur wenige Meter über dem Meeresspiegel oder zum Teil sogar darunter liegt, ist als Querco-Buxetum anzusprechen. Die wesentlichsten Baumarten der noch $\frac{1}{3}$ der ursprünglichen Bestockung aufweisenden Fläche sind: *Quercus castanaefolia*, *Parrotia persica*, *Buxus sempervirens*, *Carpinus betulus*, *Pterocarya fraxinifolia*, *Gleditschia caspia*, *Alnus subcordata*.

Mit zunehmender Höhe nimmt der Anteil an Hainbuche zu, so daß die Zone bis etwa 300 m über NN, die an den Ausläufern des Elbursgebirges liegt, von TREGUBOV als Querco-Carpinetum bezeichnet wird.

In einer Übergangsregion zwischen 200 und 800 m findet sich dann vorwiegend Hainbuche neben *Parrotia* und Eiche (*Parrotia-Carpinetum*), während ab 800 m Höhe große, zusammenhängende Buchenwälder (*Fagetum hyrcanum*) bester Bonität auftreten (Abb. 6). Sie sind mit *Quercus castanaefolia*, *Quercus sintenisiana*, *Fraxinus excelsior*, *Taxus baccata* und vor allem mit Hainbuche gemischt, die mit insgesamt 25 % der Stammzahl den höchsten Anteil aller in den Kaspischen Wäldern vorkommenden Baumarten einnimmt. In größeren Höhen wird die Hainbuche allerdings seltener, während die Buche noch an steilen Hängen zu stocken vermag. In Höhen über 2000 m schließlich verschwindet die Buche, Strauchformationen und Weideflächen dominieren, zusammenhängender Wald ist kaum noch zu finden, aber stellenweise wächst die Hainbuche, und zwar *Carpinus orientalis*, noch neben Bäumen zweiter Ordnung wie z.B. *Quercus macranthera* ausnahmsweise. Diese oberste Stufe der Waldvegetation der Kaspischen Wälder wur-



Abb. 6 Typische Bestands-
bilder aus den
kaspischen Wäldern

de von TREGUBOV *Carpinetum orientalis* genannt.

Obwohl die Hainbuche in diesem für die persische Forstwirtschaft wichtigsten Gebiet einen entscheidenden Anteil am Holzvorrat einnimmt, wird ihr Holz heute von der iranischen Holzindustrie kaum abgenommen. Ein größeres Interesse des Holzmarktes an diesen ungenutzten Holzvorräten ist aber erst dann zu erwarten, wenn genauere Kenntnisse über deren Gebrauchswert vorliegen.

2.3.4 Der Anteil der Hainbuche am Holzvorrat der Kaspischen Wälder

Eine der häufigsten Baumarten der Kaspischen Wälder ist die Hainbuche. Die Gattung *Carpinus*, deren Urheimat Ostasien ist, ist auf der Erde mit etwa 50 - 60 Arten vertreten und beschränkt sich im wesentlichen auf das nördlich gemäßigte bis subtropische Gebiet, während sie mit wenigen Arten in Südostasien und in den Gebirgen Mittelamerikas in tropische Regionen vordringt. In Nordpersien gedeiht sie sogar in höheren Gebirgslagen, während sie in Mitteleuropa eine Baumart der Ebene und mittleren Hanglagen ist. Das entspricht im allgemeinen dem Verbreitungsgebiet der Rotbuche; innerhalb dieses Gebietes bevorzugt sie jedoch wärmere Hanglagen. Die südliche Grenze ihrer Verbreitung folgt dem Schwarzmeerküstenstreifen der Türkei und des Iran und umfaßt die Balkanhalbinsel sowie das Landesinnere von Ober- und Mittelitalien bis etwa zur Höhe von Genua.

Bis vor einigen Jahren kannte man im Iran lediglich die Hainbuchenarten *Carpinus betulus* und *Carpinus orientalis*. 1966 fand SABETI, Universität Teheran, in den Kaspischen Wäldern außerdem noch die Variationen

Carpinus betulus L.Var. *typica* Medv.

Carpinus betulus L.Var. *carpinizza* (Host.Meiler)

Carpinus edentula

Carpinus macrocarpa (Willon) H.Winkl.

Carpinus schuschaensis H.Winkl.

Am Gesamtvorrat der Kaspischen Wirtschaftswälder ist die Hainbuche mit fast 100 Millionen m^3 zu etwa einem Drittel beteiligt und übertrifft damit wie der Abb. 7 zu entnehmen ist, den Anteil der Buche (etwa 70 Millionen m^3) noch beträchtlich. Erle, Ahorn und Eiche stellen jeweils nur etwa ein Viertel des Holzvorrats der Hainbuche, die Anteile von Linde, Ulme, Eisenholz (*Parrotia Persica*) sowie der sonstigen Arten sind noch geringer. Der in der Abb. 7 getrennt ausgewiesene Schwachholzanteil, d.h. die Masse der Stämme mit Durchmessern unter 30 cm, ist bei allen Baumarten auffallend gering. Abb. 8 gibt Aufschluß über die Verteilung des Holzvorrates der Hainbuche - der auf zahlreichen Probestflächen stichprobenweise erfaßt wurde - auf die verschiedenen Durchmesserklassen. Der Hauptanteil, nämlich rund 30 Millionen m^3 fällt auf Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser zwischen 50 - 70 cm und 15 Millionen m^3 setzen sich sogar aus Starkhölzern mit Durchmessern von mehr als 90 cm zusammen. Diese beträchtlichen Starkholzvorräte sind trotz ihrer offensichtlichen Überalterung als ein wertvolles Reservoir der persischen Holzwirtschaft anzusehen und sollten möglichst bald einer geeigneten Nutzung zugeführt werden.

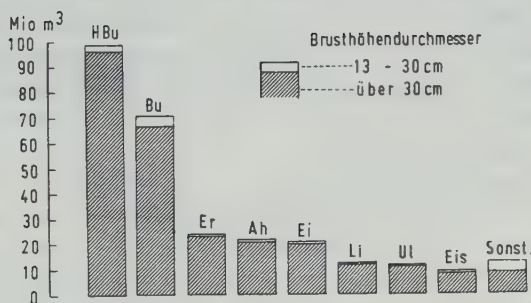


Abb. 7 Holzartenanteile am Gesamtvorrat der Kaspischen Wälder

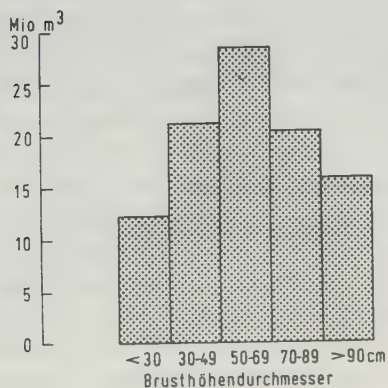


Abb. 8 Verteilung des Holzvorrates der Hainbuche auf die verschiedenen Durchmesserklassen

3. DIE HOLZEIGENSCHAFTEN DER =====

HAINBUCHE =====

3.1 Bisherige Untersuchungen über die Holzeigenschaften der Hainbuche

In Mitteleuropa spielt die Hainbuche wirtschaftlich im allgemeinen nur eine untergeordnete Rolle und wird lediglich von wenigen Spezialbetrieben verarbeitet. In einigen Ländern mit höherem Mittelwaldanteil, wie beispielsweise in Frankreich oder auch in Ungarn und in der CSSR, ist sie allerdings für die Zellstoffherstellung von gewisser Bedeutung. Trotz ihrer ausgezeichneten biologischen Eigenschaften wurde sie waldbaulich nur wenig beachtet, vielen Waldbesitzern erscheint der Anbau anderer, schnellwüchsigerer Baumarten mit besseren Stammformen lohnender. Dementsprechend gering ist auch das Schrifttum über die Hainbuche. In den bereits erschienenen Publikationen wurden vor allem ihre anatomischen Eigenschaften sowie ihre waldbaulichen Vorzüge behandelt. Über ihr Holz finden sich nur spärliche Angaben und diesen liegt zumeist Material unbekannter Herkunft zugrunde. Das gilt auch für eine Veröffentlichung von F.FRANK (1954), der zwar über die Eigenschaften und die Verwendungsmöglichkeiten dieser Holzart einige allgemeine Angaben macht, sich aber nicht über die Quelle seiner Informationen äußert. Auch aus verschiedenen anderen Ländern innerhalb des Verbreitungsgebietes der Hainbuche, wie Frankreich, Belgien, der CSSR, Ungarn und insbesondere auch aus Rumänien sind mehrere Veröffentlichungen bekannt. Da in Ungarn Hainbuchenholz für die Papierindustrie zunehmend an Bedeutung gewinnt, befaßten sich P.LENGYEL und I.HAJDUCZKY (1970) mit einigen in diesem Zusammenhang interessierenden Fragestellungen. Nach

ihrer Ansicht eignet sich von allen ungarischen Holzarten neben der Pappel die Hainbuche am besten für die Papierherstellung. In einer Monographie (BOIS de L'IRAN) schildert TABATABAI u.a. (1965) aus dem Iran die mikroskopischen und makroskopischen Merkmale sowie die physikalischen, mechanisch-technologischen Eigenschaften des Holzes der zu den beiden Familien Betulaceae und Corylaceae gehörenden Baumarten. Die drei Carpinusarten (*Carpinus betulus*, *Carpinus orientalis*, *Carpinus schuschaensis*) werden hier kurz in der Reihenfolge ihrer wirtschaftlichen Bedeutung behandelt. In einer kleinen Studie von HEJAZI (1958) "On Railway Sleepers in Iran" wurden Eigenschaften und Tränkbarkeit des Hainbuchenholzes an wenigen Proben untersucht und auf die wirtschaftliche Bedeutung der Hainbuche für die Schwellenherstellung eingegangen. Einige Angaben über die Anatomie des Hainbuchenholzes finden sich unter anderem auch in einer Beschreibung der persischen Baumarten von P.NILOOFARI (1961) und HEJAZI (1969).

G.GIORDANO (1942) untersuchte das Holz der Hopfenbuche (*Ostrya Carpinifolia*) und der Weißbuche (*Carpinus betulus*), legte jedoch das Hauptgewicht auf die physikalischen Eigenschaften des Holzes.

Da, wie dieser kurze Überblick zeigt, über die Verwendungsmöglichkeiten des Hainbuchenholzes bisher nur wenige Erfahrungsberichte vorliegen, andererseits aber gerade im Iran große ungenutzte Vorräte dieser Holzart vorhanden sind, erschien es notwendig, sich zunächst einmal eingehender mit ihren Eigenschaften zu befassen und damit die Voraussetzung für ihre wirtschaftliche Verwertung zu erarbeiten.

3.2 Material und Methode

3.2.1 Die Auswahl des Materials

Da die Ermittlungen der Holzeigenschaften an relativ wenigen Probestämmen mit erheblichen Unsicherheiten belastet ist, mußte trotz der Transportschwierigkeiten daran gelegen sein, die Probeentnahme räumlich auf mehrere Gebiete auszudehnen. Bei der Auswahl der Untersuchungsbestände wurde von der Überlegung ausgegangen, daß waldbauliche Maßnahmen, die einen gewissen Einfluß auf die Holzqualität hätten ausüben können, in den alten Beständen bisher unterblieben und somit für die Auswahl der Probestämme ohne Bedeutung sind. Es erschien jedoch zweckmäßig, das Material aus drei nach Standort und klimatischen Gegebenheiten unterschiedlichen Wuchsgebieten der Kaspischen Wälder zu entnehmen (Tab. 3), um eine möglichst große Variation der Holzeigenschaften der im Iran weitverbreiteten Hainbuche zu erfassen. Aus jedem Wuchsgebiet wurden 2 "Flächen", wie in der iranischen Forstverwaltung die Betriebseinheiten genannt werden, und aus jeder solchen Fläche mehrere typische Bestände herausgegriffen, von denen einige in Abb. 9 wiedergegeben sind. Nähere Angaben können der Tabelle 4 entnommen werden. Die Auswahl der Bestände wurde nach folgenden Gesichtspunkten vorgenommen: Aus beiden Betriebseinheiten jeden Wuchsgebietes wurden drei Höhenlagen, nämlich eine untere von 0 - 500 m, eine mittlere von 500 - 1000 m und eine obere Höhenlage über 1000 m (nach dem iranischen Forsteinrichtungswerk) erfaßt. In jeder Höhenlage sollte aus vier verschiedenen Hangrichtungen jeweils ein Probestamm entnommen werden. Da nicht in jedem der drei Wuchsgebiete in den unteren Lagen Hainbuchenbestände auf allen Expositionen zu finden waren, konnte die vorgesehene Probestammzahl jedoch nicht erreicht werden. Zum Vergleich und als Ergänzung des Probematerials aus dem Iran wurden noch einige Stämme aus Süddeutschland in die Untersuchungen einbezogen.

Tabelle 3

Wuchsgebiet (Provinz)	Niederschlag mm	Temperatur	Geologisches Ausgangsmat.	Wasser- haushalt	Waldtyp Baumarten
Wuchsgebiet I (NW) <u>GILAN</u>	ca. 2000	-5 - 30°	Silikat- reiche Kalksedi- mente	frisch-feucht	Fagetum Buche, Hain- buche, Eiche, Erle, Ahorn, Ulme, Linde usw.
Wuchsgebiet II (N) <u>MAZENDERAN</u>	1115-1720	0 - 33°	Kalkreiche Sedimente	frisch-feucht	Fagetum Carpinetum Buche, Hain- buche, Erle, Ulme, Ahorn, Eiche, Eibe usw.
Wuchsgebiet III (NO) <u>MAZENDERAN</u> (GORGAN)	700	-10 - 30°	Löß	trocken-frisch	Quercetum Carpinetum Eiche, Hain- buche, Ahorn, Ulme, Linde usw.

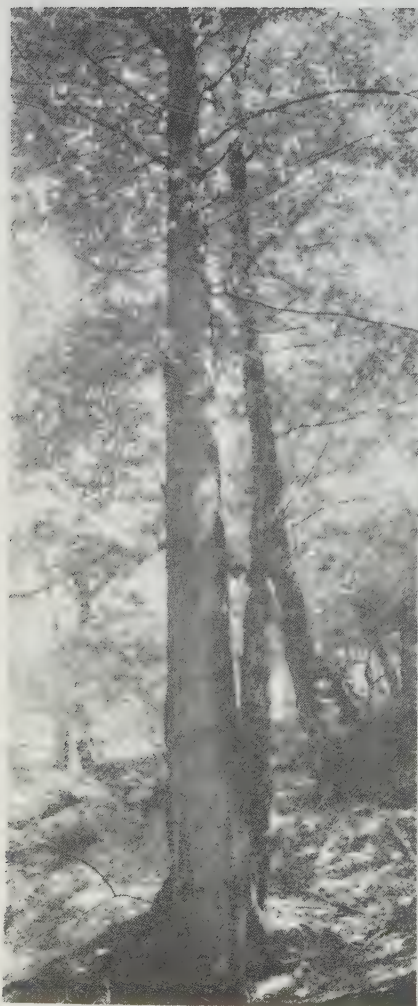


Abb. 9 Hainbuchenbestände
aus den Untersuchungsge-
bieten der kaspischen Wälder

Tabelle 4

Wuchsgebiet und Betriebsseinheit	Fläche Nr.	Flächen- größe ha	Höhenlage m	Exposition über- wiegend	Hang- neigung	Bodenart	Boden- tiefe cm	Humus-Wasser- auflagehaushalt cm	Probe- stamm Nr.
I (NW) Provinz GILAN RECK	114	38	1230-1400 1315	Osthang	15-25 20	Lehmiger Sandboden	20-150	10 frisch feucht	11
"	117	36	1000-1350 1125	Nord	15-35 200	Lehmiger Kies	40-200	20 "	12
KILESARA	101	62	520- 900 700	Ost-West	-	Lehm-Kies	40-120	stark zersetzt	13
"	106	47,5	250-450 320	Süd-Nord	33°	Lehm Lehmiger Kies	60-120	"	15, 16
II (N) Provinz MAZENDERAN SANGDEH	43	52,6	1300-1500	Nord-West	10-40	Lehm mit kiesiger Beimischg.	30-120	3-8 "	01
GOLBAND	138	50	890-1100 950	Nord	7-28 130	"	50-100	4-12 "	17, 18
III (NO) Provinz MAZENDERAN (GORGAN) KORANKAFTAR	201	240	750-1300 850	Nord Nord-West	4-30 130	"	20-100	3-5 feucht	3, 4, 6
"	104	203	1450-1730 1520	-	5-22 80	Lehm	20-300	" trocken frisch	7, 8
KONDESKU LOWEH	210	190	350- 820 700	Nord	5-20 130	"	10-200	"	5
"	211	172	320- 820 650	West Süd-West	2-35 180	"	"	"	9

3.2.2 Beschreibung der ausgewählten Untersuchungsgebiete und Bestände

Das Wuchsgebiet I liegt im Nord-Westen der Kaspischen Wälder in der Provinz GILAN. Die an der Ostseite des Elbursgebirges und an den Nordhängen des großen Tularud-Kammes auf 5751 ha stockenden, im Forsteinrichtungswerk der iranischen Forstverwaltung als Betriebseinheit "RECK" geführten Wälder werden als repräsentativ für das gesamte Wuchsgebiet angesehen und deshalb zur Charakterisierung der ökologischen Daten herausgegriffen. Die Betriebseinheit wurde nach den verschiedenen Waldtypen, den Umtriebszeiten der Baumarten und der Geländeausformung in eine "Serie" (= ungefähr ein Distrikt) beziehungsweise 134 Flächen (= Bestände) unterteilt. Vorherrschend sind hier Nordhänge mit einem durchschnittlichen Gefälle zwischen 25 und 35° und wesentlich steileren Unterhängen.

Klimatische Verhältnisse:

Die durchschnittlichen Jahresniederschläge betragen etwa 2000 mm und zeigen ein deutliches Maximum im Herbst und Winter. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 15 - 18° C bei Tiefsttemperaturen bis zu -5 und Höchstwerten von +34° C. Die vom Kavierbecken in Richtung des Elbursgebirges strömenden Barrassat-Winde verursachen eine hohe Luftfeuchtigkeit. Schneemengen bis über 1 m Höhe sind hier in höheren Lagen (über 1000 m NN) keine Seltenheit. In der Naßschneezone kommt es jedoch nicht zu nennenswerten Frostschäden.

Geologie und Boden:

Das Muttergestein besteht aus tertiären, silikatreichen Kalksedimenten. Die Bodenart ist hauptsächlich durch Lehm, Kies und kalkreichen Sand gekennzeichnet. Die Mächtigkeit der Böden schwankt zwischen 10 cm bei starkem Gefälle und 4 m bei geringer Neigung. Die Humusaufgabe ist stark zer-

setzt und schwankt zwischen 5 und 20 cm. Die Böden sind überwiegend gelblich oder rötlich-braun und gehören nach dem neuen, 1960 vom SOIL SURVEY STAFF vorgelegten neuen Klassifikationssystem (7. Vorschlag, 7. Approximation) zur Gruppe der Alfisole. An steilen erosionsgefährdeten Hängen überwiegen pararendzinartige Bodentypen (Entisole bis Inceptisole). (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1970).

Baumartenzusammensetzung:

Im allgemeinen besteht dieses Gebiet aus Naturmischwald, der dem Fagetum angehört. Der flächenbezogen größte Anteil, nämlich 62 %, entfällt, bedingt durch das Vorherrschen von Nordhängen im Gebirge, auf Buche (*Fagus orientalis*).

Wegen seiner günstigeren klimatischen und topographischen Bedingungen (Nordhänge!) ist dieses Gebiet eines der besten Buchenwuchsgebiete. Daneben treten - je nach standörtlichen Verhältnissen - eine Reihe von Mischbaumarten auf. In zwei repräsentativen Beispielbeständen (Fläche Nr. 114 und 117 der Betriebseinheit RECK) wurden folgende Baumartenanteile festgestellt:

		N %	V %
Buche	(<i>Fagus orientalis</i>)	61,6	63,93
Hainbuche	(<i>Carpinus betulus</i>)	10,6	3,24
Eiche	(<i>Quercus castaneaefolia</i>)	2,32	1,38
Erle	(<i>Alnus subcordata</i>)	6,74	6,72
Ahorn	(<i>Acer campestre</i>)	7,05	8,44
Ulme	(<i>Ulmus glabra, montana</i>)	6,89	11,80
Linde	(<i>Tilia begonifolia, rubra</i>)	3,50	3,72
Esche	(<i>Fraxinus excelsior</i>)	}	1
Eisenholz	(<i>Parrotia persica</i>)		
Wasserulme	(<i>Zelkova carpinifolia, crenata</i>)		
Nußbaum	(<i>Juglans regia</i>)		
wilde Kirsche	(<i>Cerasus Juss</i>)		
Dattelpflaume	(<i>Diospyros lotus</i>)	}	0,73
Flügelnuss	(<i>Pterocarya fraxinifolia</i>)		

N % = Prozentuale Baumartenverteilung nach Stammzahlen

V % = Prozentuale Verteilung des Holzvorrats der Baumarten

(Der Vorrat wurde durch ein Gitternetz-Repräsentativ-Verfahren aufgenommen. Schwellen-Brusthöhendurchmesser 12,5 cm)

Im Wuchsgebiet I wurden 5 Probestämme aus 4 Beständen ausgewählt, von denen 2 der Betriebseinheit RECK und zwei der Betriebseinheit KILESARA angehören (Tabelle 5). Die Fläche 114 (RECK) ist 38 ha groß, liegt zwischen 1230 und 1400, im Mittel 1315 m über dem Meer auf einem Osthang mit einem Gefälle von 15 - 25/20°. Die frisch bis feuchten, lehmigen Sandböden sind flach bis tiefgründig, die Mächtigkeit schwankt zwischen 20 und 150 cm. Die natürliche Waldgesellschaft ist ein Fagetum, in dem die Buche 50 % der Stammzahl und 53 % des Vorrats einnimmt. Ihr mittlerer Brusthöhendurchmesser ist 25 cm die Mittelhöhe 15 m. Sie tritt häufig in Mischung mit folgenden Baumarten auf:

Baumart	Stammzahl %	Vorrat %
Hainbuche	11,52	3,71
Ulme	11,25	15,53
Ahorn	12,10	14,72
Erle	5,74	5,78
Linde	3,32	5,88
Esche	3,59	
sonstige	2,25	1,38

Der Gesamtvorrat der Bestände beträgt durchschnittlich 384 Vfm/ha, die mittlere Grundfläche 24,3 m², der durchschnittliche Überschirmungsgrad 0,85 und der jährliche Zuwachs 3,8 fm.

Die 36 ha große Fläche 117 (RECK) stockt in einer Höhenlage zwischen 1000 und 1350, im Mittel 1125 m über dem Meeresspiegel auf einem überwiegend nach Norden orien-

tierten Hang, der ein Gefälle von 15° bis $35^{\circ}/20^{\circ}$ aufweist. Die flach bis tiefgründigen lehmigen Kiesböden haben eine Mächtigkeit von 40 bis 200 cm und sind frisch bis feucht. Hauptbaumart ist wiederum die Buche (natürliche Waldgesellschaft = *Fagetum*) mit einem Anteil von 72 % an der Stammzahl und 74,8 % am Vorrat, mit einem mittleren Brusthöhendurchmesser von 25 cm und einer Mittelhöhe von 15 m. Beigemischt sind folgende Baumarten:

Baumart	Stammzahl %	Vorrat %
Hainbuche	9,07	2,7
Erle	7,7	6,7
Ulme	3,5	8,6
Ahorn	3,09	2,1
Eiche	4,15	2,7
Linde		
Esche	0,66	1,5

Der Gesamtvorrat liegt durchschnittlich bei 508 Vfm/ha, die mittlere Grundfläche bei $25,4 \text{ m}^2$, der durchschnittliche Überschirmungsgrad ist 0,91 und der jährliche Zuwachs beträgt 5,08 fm.

Ein weiterer Probestamm stammt aus der 62 ha großen Fläche Nr. 101 (KILESARA), die zwischen 520 und 900, im Mittel 700 m über NN auf einem überwiegend nach Ost und West orientierten Hang liegt. Die frisch bis feuchten Böden bestehen aus Lehm und Kies, die Mächtigkeit der Böden schwankt zwischen 40 bis 120 cm. Die Hauptbaumart Buche weist einen mittleren Brusthöhendurchmesser von 20 cm und eine Mittelhöhe von 15 m auf und nimmt 61,5% der Stammzahl und 68,5 % des Vorrats ein.

Tabelle 5

Wuchsgebiet	Probe- stamm Nr.	Fläche Nr.	B H D cm	Höhe m	Alter
IRAN I(NW)	11	114	34	22	118
"	12(A)	117	42	20	117
"	13	101	44	25	121
"	15	106	44	16	115
"	16(SCH)	106	38	19	110
IRAN II(N)	01(SCH)	43	48	25	103
"	17	138	39	24	75
"	18	138	36	27	73
IRAN III(NO)	3	201	40	17	85
"	4	201	37	18	77
"	6	201	37	18	82
"	7	104	38	24	118
"	8	104	40	19	103
"	5(SCH)	210	34	15	73
"	9	211	32	23	78
Deutschland (Steigerwald FA Ebrach)	I	-	36	26,5	158
"	II	-	48	21	154
Schwäbische Schotter-, Riedel- u.Hü- gellandschaft (FA Laugna)	III	-	38	24	81

A = nur 1 Stammabschnitt

SCH= nur einige Stammscheiben

Beigemischt sind folgende Baumarten:

Baumart	Stammzahl %	Vorrat %
Ahorn	16	13,4
Ulme	12	11
Hainbuche	10,5	7,1
Erle		
Linde		
Esche		

Der Gesamtvorrat beträgt durchschnittlich 257,40 Vfm/ha bei einem mittleren Überschirmungsgrad von 0,65 - 0,70. Der Untersuchungsbestand Nr. 106 (KILESARA), aus dem 2 Probestämme entnommen wurden, stockt auf einer 47,5 ha großen Fläche in 250 bis 450, im Mittel 320 m Höhe auf hauptsächlich nach Süden und Norden geneigten Hängen mit einem Gefälle um 33°. Die Mächtigkeit der frisch bis feuchten Lehm- oder lehmigen Kiesböden schwankt zwischen 60 und 120 cm. Die vorherrschende Baumart ist neben Ahorn die Hainbuche, die an der Stammzahl mit 26,5 % und mit 14 % am Gesamtvorrat beteiligt ist und einen mittleren Brusthöhendurchmesser von 10 cm aufweist.

Als Mischbaumarten sind zu finden:

Baumart	Stammzahl %	Vorrat %
Ahorn	26,5	22,5
Ulme	14,5	
Esche	14,5	3,5
Linde	11,5	
Eiche	6,5	60

Bei einem durchschnittlichen Beschirmungsgrad von 0,6 beträgt der Gesamtvorrat im Mittel 210,5 Vfm/ha.

Als charakteristisch für das Wuchsgebiet II (Nord) in der Provinz MAZENDERAN wurde die Betriebseinheit GOLBAND ausgewählt. Ihre Wälder erstrecken sich über 11 487 ha und liegen in einem topographisch reich gegliederten Gebiet. Die Höhe über NN variiert zwischen 250 m und 2300 m. Der überwiegende Anteil der Flächen befindet sich in Höhenlagen von 800 bis 1500 m. Hauptsächlich vertreten sind West- und Osthänge mit einem Gefälle von minimal 2° und maximal 60°.

Die Betriebseinheit wurde in drei "Serien" (= ungefähr drei Distrikte) und jede Serie in mehrere Flächen (= Bestände) unterteilt.

Klimatische Verhältnisse:

Die während der letzten 10 Jahre gemessenen Niederschlagsmengen liegen zwischen 1115 und 1720 mm pro Jahr, lediglich in höheren Lagen gehen sie im Winter als Schnee nieder. Die in den unteren Hanglagen gemessenen Temperaturen erreichen im Sommer Höchstwerte von 33° und im Winter Tiefstwerte von 0°. Die Winde kommen vornehmlich aus nördlicher Richtung und treten gehäuft im Frühjahr und Herbst auf.

Geologie und Boden:

Das geologische Ausgangsmaterial besteht aus kalkreichen Sedimenten des Tertiärs. Die Böden sind von wechselnder Mächtigkeit, an schwachgeneigten Hängen beträgt sie mehr als 1 m, an Hängen mit starkem Gefälle nur ca. 10 cm, im Mittel etwa 60 - 70 cm. Als Bodenart dominieren kalkige kiesige Lehme. Der A_h-Horizont schwankt zwischen 0 und mehr als 10 cm.

Bodentypologisch gesehen handelt es sich wieder um Entisole mit A_hC- und A₁C-Profilen, an den steilen Hängen mit Erosionserscheinungen zum Teil um Inceptisole mit A B C - Folge (braunerdeartig) und auf älteren morphologischen Relief-

partien um Alfisole mit A_h A₁ B_t C-Profilen (Terra fusca-artig).

Waldgesellschaften:

In höheren Lagen (1000 bis 2000 m) herrschen Buchenwälder als Waldtyp vor, in tieferen Lagen (unter 1000 m) Hainbuchenwälder. In beiden Waldtypen sind die folgenden Baumarten vorhanden:

Hainbuche	(<i>Carpinus betulus</i>)
Erle	(<i>Alnus subcordata</i>)
Ulme	(<i>Ulmus glabra</i>)
Ahorn	(<i>Acer campestre</i>)
Linde	(<i>Tilia begonifolia</i>)
Eiche	(<i>Quercus castaneaefolia</i>)
Eibe	(<i>Taxus baccata</i>)
Nußbaum	(<i>Juglans regia</i>)
Eisenholz	(<i>Parrotia persica</i>)
Elsbeere	(<i>Sorbus torminalis</i>)
Esche	(<i>Fraxinus excelsior</i>)
Kirschbaum	(<i>Cerasus Juss-Prunus</i>)

Im Wuchsgebiet II wurden 3 Probestämme aus 2 Beständen ausgewählt, von denen einer aus der Betriebseinheit SANGDEH und einer aus der Betriebseinheit GOLBAND stammen (Tab.5). Die Fläche 43 (SANGDEH) ist 52,6 ha groß und liegt zwischen 1300 und 1500 m über dem Meer auf einem überwiegend nach Nordwest orientierten Hang mit einem Gefälle von 10 bis 40°. Bei den frisch bis feuchten Böden handelt es sich um Lehm mit kiesiger Beimischung, deren Mächtigkeit zwischen 30 und 120 cm schwankt. Die natürliche Waldgesellschaft ist ein Fagetum asperulosum mit Buche, Hainbuche, Erle und Ahorn als herrschenden Baumarten. Die Jungbestände setzen sich dagegen zum überwiegenden Teil aus Buchen und Hainbuchen zusammen. Durchschnittlich steht auf dieser Fläche, deren Überschirmungsgrad um 0,7 liegt, ein Gesamtvorrat

von 355 Vfm/ha, und es wachsen jährlich rund 4,9 fm/ha zu.

Die zweite Untersuchungsfläche aus der Provinz MAZENDERAN, die Fläche (GOLBAND) Nr. 138, erstreckt sich über 50 ha in einer Höhenlage zwischen 890 und 1100 m, im Mittel 950 m über dem Meer auf einem Nordhang, der ein Gefälle von 7° bis 28° im Mittel von 13° aufweist. Die Mächtigkeit der Böden schwankt zwischen 50 bis 100 cm, sie sind frisch bis feucht und setzen sich überwiegend aus Lehmen mit kiesigen Beimischungen zusammen.

Der aufstockende Bestand ist ein Laubmischwald, dessen Zusammensetzung den natürlichen Waldgesellschaften Carpinetum und Fagetum entspricht. Nach der Stammzahl nimmt die Hainbuche den größten Anteil (44,7 %) ein (mittlerer Brusthöhendurchmesser 25 cm), während am Vorrat die Buche am stärksten beteiligt ist (35,2 %, mittlerer Brusthöhendurchmesser 70 cm). Im Ganzen setzt sich der Bestand folgendermaßen zusammen:

Baumart	Stammzahl %	Vorrat %
Hainbuche	44,7	24,0
Buche	21,3	35,2
Ahorn	13,0	24,2
Ulme	8,6	5,6
Erle	11,0	10,7
Linde	0,7	0,1
Kirsche	0,7	0,2

Als Gesamtvorrat wurden 304,5 Vfm/ha errechnet bei einer mittleren Grundfläche von 24,3 m² und einem durchschnittlichen Überschirmungsgrad von 0,75.

Unweit der Städte Gonbad und Gorgan liegen die zum Wuchsgebiet III (Nord-Ost) gehörenden Wälder der Betriebseinheit KONDESKU-LOWEH. Sie erstrecken sich über eine Fläche von 4.655 ha und bedecken in Höhen von 300 bis 1750 m den Nordhang eines von Ost nach West streichenden Gebirgskammes.

Klimatische Verhältnisse

Charakteristisch für das Gebirgsklima dieses Gebietes sind warme, ausgesprochen trockene Sommer (Temperaturen bis 30°C) und verhältnismäßig kalte Winter (bis -10°C), in denen - vor allem im Süden des Untersuchungsgebietes - während zwei Monaten Schnee fällt. Die Niederschläge konzentrieren sich auf das Frühjahr und den Winter und erreichen eine durchschnittliche Höhe von 700 mm im Jahr.

Geologie und Boden

Das kalkhaltige geologische Ausgangsmaterial ist in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes von einer tiefgründigen Lössdecke überlagert. Dieser LÖB ist von den Flußtälern der Ebenen des GORGANS eingeweht worden.

Die sich aus dem LÖB entwickelnden (parabraunerdeartig mit $A_h A_e B_t$ C-Profil) Inceptisole (A_h C-Profil in Henglage) und Entisole (A_1 C-Profil wo Erosion) sind auf weiten Strecken von einer unzersetzten Streuauflage überdeckt. Ein Grund hierfür ist der früher betriebene Weidegang mit nachfolgender starker oberflächiger Verdichtung des Bodens und eingeschränkter bodenbiologischer Aktivität.

Waldgesellschaften

Die natürliche Waldgesellschaft des Untersuchungsgebietes ist der Eichen-Hainbuchen-Mischwald mit Quercusarten wie Quercus castanifolia, Quercus atropatana, Quercus macranthera und Carpinus betulus. Einzelne - bis bestandsweise beigemischt - sind die folgenden Baumarten:

Ahorn	(<i>Acer campestre</i>)
Ahorn	(<i>Acer laetum</i>)
Erle	(<i>Alnus subcordata</i>)
Ulme	(<i>Ulmus glabra</i>)
Linde	(<i>Tilia begonifolia</i>)
Elsbeere	(<i>Sorbus torminalis</i>)
Esche	(<i>Fraxinus excelsior</i>)
Eisenholz	(<i>Parrotia Pasica</i>)
Dattelpflaume	(<i>Diospyros lotus</i>)
Kirsche	(<i>Cerasus Juss</i>)
Wasserulme	(<i>Zelkova carpinifolia</i>)

Charakteristisch für das Untersuchungsgebiet ist das völlige Fehlen der Buche (*Fagus orientalis*) als Mischbaumart. Der Grund für diese Erscheinung dürfte vor allem in der Höhe und Verteilung der Niederschläge über das Jahr zu suchen sein.

Nach den Erhebungen der Forsteinrichtung im Untersuchungsgebiet weist die Eiche einen mittleren Brusthöhendurchmesser von 55 cm auf und stellt einen Anteil von 44,8 % am Gesamtbestand. Ihr folgt die Hainbuche mit einem mittleren Brusthöhendurchmesser von 45 cm und einem Anteil am Gesamtbestand von 35,6 %.

Von der Stammzahl her ist die Hainbuche mit 54,7 % überrepräsentiert, die Eiche ist nur mit einem Stammzahlanteil von 18,2 % vertreten. Diese geringe Stammzahl der Eiche ist im Bereich der schwächeren Dimensionen besonders ausgeprägt. Der Grund für diese Erscheinung ist in der bisherigen Bewirtschaftung zu sehen. Die Wälder des Untersuchungsgebietes wurden in der Vergangenheit vor allem für Zwecke des Holzexportes genutzt. Hierbei wurde der Hieb gezielt und überhöht auf die Eiche geführt. Für die Hainbuche sah man keine Verwertungsmöglichkeit, sie blieb daher von den Ex-

porthieben verschont. Regelungen des Mischungsverhältnisses der Eiche und Hainbuche unterblieben ebenfalls weitgehend. Dies hatte zur Folge, daß die Hainbuche einerseits die Eiche von der Stammzahl her bald überflügelte, andererseits aber die vom Hieb ausgenommenen haubaren Hainbuchenstämme nunmehr mit 140 Jahren ihre physiologische Altersgrenze erreicht haben. Das Überhandnehmen der Hainbuche führt in der Gegenwart schließlich dazu, daß die Eiche kaum noch Verjüngungschancen hat. Die Hainbuche hat weite Teile des Eichenareals im Anschluß an die Exporthiebe erobert; aufkommende Eichenverjüngung wird vielfach durch Mangel an Licht bei Überschildung durch die vorwüchsige Hainbuche wieder zugrunde gerichtet. (Ähnliche Bilder finden sich auch in bestimmten mitteleuropäischen Eichen-Hainbuchenwäldern, wo die Hainbuche in der Jugend stark vorwüchsig ist, z.B. in Frankreich im Forêt de Blois oder in Württemberg in der Nähe von Heilbronn).

Aus dem Wuchsgebiet III und zwar aus den Betriebseinheiten KORANKAFTAR und KONDESKU-LOWEH wurden insgesamt 7 Probestämme zu dieser Untersuchung herangezogen. (Tab. 5)

Der Bestand Nr. 201 (KORANKAFTAR), in dem 3 Probestämme gefällt wurden, ist 240 ha groß, liegt zwischen 750 und 1300, im Mittel 850 m über dem Meeresspiegel auf einem Nord- bzw. Nordosthang mit einem Gefälle von 4 - 30/130°. Die feuchten, lehmigen, mit Kalk überlagerten Böden sind flach bis tiefgründig, ihre Mächtigkeit schwankt zwischen 20 bis 100 cm. Die natürliche Waldgesellschaft ist ein *Parrotia Carpinetum*, in dem die Hainbuche 48,7 % der Stammzahl und 41,19 % des Vorrats einnimmt. Ihr mittlerer Brusthöhendurchmesser ist 30 - 60 cm, die Mittelhöhe 10 - 15 m. Folgende Baumarten sind ihr beigemischt:

Baumart		Stammzahl %	Vorrat %
Eisenholz	(Parrotia persica)	12,74	7,42
Eiche		4,46	12,83
Ahornarten	(Acer campestre Acer laetum)	12,00	11,6
Ulme		5,75	12,6
Linde		8,43	6,48
Erle		2,42	4,88
sonstige		5,50	3,00

Der Gesamtvorrat dieses mehr als 200 Jahre alten Bestandes beträgt bei einem durchschnittlichen Überschirmungsgrad 0,70 389 Vfm/ha, der jährliche Zuwachs ist bereits auf 1 fm abgesunken.

Ebenfalls in der Provinz KORANKAFTAR liegt die Parzelle 104 mit einer Flächengröße von 203,3 ha in einer Höhenlage zwischen 1450 und 1730, im Mittel 1520 m über dem Meer auf einem 5° bis 22°, im Mittel 8° geneigten Hang. Die trocken bis frischen Lehm Böden sind flach bis sehr tiefgründig, mit einer Mächtigkeit von 20 bis 300 cm. Die natürliche Waldgesellschaft ist ein Carpinetum quercetum, in dem die Hainbuche 59,7 % der Stammzahl und 33,6 % des Vorrats einnimmt. Ihr mittlerer Brusthöhendurchmesser ist 35 cm, die Mittelhöhe 15 m. Ihr sind die folgenden Baumarten beigemischt:

Baumart	Stammzahl %	Vorrat %
Eiche	16,0	52,5
Ahorn	9,5	6,7
Linde	1,0	0,4
Elsbeere	11,0	4,9
Kirsche	0,3	0,1
Ulme	2,3	1,8

Der Gesamtvorrat beträgt im Durchschnitt 295,5 Vfm/ha der natürliche Überschirmungsgrad 0,75 und der jährliche Zuwachs 3 fm. Aus dieser Fläche stammen 2 Probestämme. Eine weitere Hainbuche wurde in der Fläche Nr. 210 (KONDESKU-LOWEH) ausgewählt. Der 190 ha große Bestand liegt zwischen 350 und 820, im Mittel 700 m hoch auf einem Nordhang mit einem Gefälle von 5 - 20/13°. Die trocken bis frischen Löß- oder feinsandigen Schluffböden haben eine Mächtigkeit von 10 bis 200 cm. Die Waldgesellschaft ist wiederum ein Carpinetum-quercetum, in dem die Hainbuche 58 % der Stammzahl und 45 % des Vorrats einnimmt. Ihr mittlerer Brusthöhendurchmesser ist 30 cm, die Mittelhöhe 10 m. Ihr sind folgende Baumarten beigemischt:

Baumart	Stammzahl %	Vorrat %
Eiche	12	28
Ahorn	8	11
Ulme	4	4
Wasserulme	4	2
Eisenholz und sonstige	14	10

Der Gesamtvorrat beträgt durchschnittlich 269 Vfm/ha der durchschnittliche Überschirmungsgrad 0,65. Auch hier wächst jährlich nur mehr etwa 1 fm Zuwachs zu.

Der letzte Probestamm stammt aus der Fläche Nr. 211 (KONDESKU-LOWEH), die sich über 172 ha in einer Höhenlage zwischen 320 und 820, im Mittel 650 m über dem Meer erstreckt auf einem überwiegend nach West und Südwest orientierten Hang, der ein Gefälle von 2 - 35/18° aufweist. Die trocken bis frischen Böden sind feinsandiger Schluff mit einer Mächtigkeit zwischen 10 bis 200 cm. Auch hier handelt es sich um ein Carpinetum quercetum, in dem die Hainbuche 53 % der Stammzahl und 41 % des Vor-

rats einnimmt. Ihr mittlerer Brusthöhendurchmesser ist 30 cm und die Mittelhöhe 10 cm. Daneben treten folgende Mischbaumarten auf:

Baumart	Stammzahl %	Vorrat %
Eiche	10	25
Ahorn	8	10
Ulme	4	3
Wasserulme	3	2
Eisenholz und sonstige	22	19

Vorrat und Zuwachs entsprechen den Verhältnissen in Fläche 210 (269 beziehungsweise 1 Vfm/ha), der Überschirmungsgrad ist etwas geringer und beträgt 0,60.

Wie bereits erwähnt, wurden als Ergänzung des Persischen Probematerials auch drei Stämme aus zwei süddeutschen Wuchsgebieten entnommen (Tab. 5). Die Stämme Nr. I und II stammten aus dem Steigerwald (FA Ebrach, Abteilung Dachsgaben d 1). Der 13,6 ha große, 117 - 177, im Mittel 153 Jahre alte Mischbestand stockt an einem nach Südost geneigten Mittelhang. Wie aus der Niederschlagskarte zu ersehen ist, liegt die mittlere jährliche Niederschlagssumme für die Periode 1891 - 1930, und für die Höhenstufen von 300 bis 400 m zwischen 600 und 800 mm. Für die Monate Mai mit August wurden durchschnittlich 240 - 320 mm gemessen. Das Jahresmittel der Lufttemperatur für die Periode 1881 - 1940 beträgt 8,3°C. Die Höhe über NN liegt zwischen 350 - 400 m und die mäßig bis trockenen mittelgründigen Sandböden sind aus der Heldburger Facies des unteren Burgsandsteins hervorgegangen. Bodentypologisch gesehen handelt es sich um schwach entwickelte Braunerde mit geringer Podsolierungstendenz und sehr guter Durchwurzelbarkeit. Die natürliche Waldgesellschaft ist ein Traubeneichen - Buchenwald. Der aufstokkende Mischbestand setzt sich folgendermaßen zusammen:

Baumart	%	Bonität
Eiche	37	II,0
Hainbuche	29	IV,0
Buche	28	III,0
Birke	4	I,5
Kiefer	2	I,5

Der dritte in die Untersuchung einbezogene Stamm (Nr.III) stammte aus dem in der Schwäbischen Schotter-, Riedel- und Hügellandschaft gelegenen Fürstlich und Gräfllich Fugger'schen Stiftungs-Forstort LAUGNA, Abteilung Anseug 67.

Der 71 - 85, im Mittel 78 Jahre alte Mischbestand, ein angehendes Baumholz, liegt zwischen 460 und 490 m über dem Meer am Südost- und Süd-Rand einer ebenen Rückenlage, mit anschließend sanftem bis mäßig steilem Abfall gegen Nord und Nordwest.

Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge für die Periode 1891 - 1930 liegt bei 670 mm, für die Monate Mai mit August wurde durchschnittlich 326 mm gemessen. Der Jahresdurchschnitt der Lufttemperatur beträgt für die Periode 1881 - 1940 etwa 8°C.

Das geologische Ausgangsmaterial besteht in den oberen Teilen aus diluvialen Deckenschotter mit Lehmüberdeckung, deren Mächtigkeit gegen Norden abnimmt. Der Boden ist ein brauner Lehm mit nach Norden zunehmendem Sandgehalt. Am Nord-Rand und in den Gräben tritt der Deckenschotter als brauner, lockerer, lehmiger, geröllführender Sand auf. Der Bestand setzt sich folgendermaßen zusammen:

0,64 Fichte mit einigen Lärchen, Douglasien und Tannen sowie 0,36 Buche mit zahlreichen Hainbuchen und Birken, Aspen, Linden, Ahornen, Eschen, Erlen und Roteichen; stellenweise Fichtenanflug und reichlich Hainbuchen-Naturverjüngung. Die Hainbuchen sind im allgemeinen gut geformt und nur wenig spannrückig.

3.2.3 Die Aufbereitung des Untersuchungsmaterials und angewandte Prüfverfahren

Nachdem die Probestämme gefällt und ihre Brusthöhendurchmesser und Höhen festgehalten worden waren, wurden in Abständen von 2 - 3 m 7 - 8 etwa 5 cm starke Stammscheiben zur Bestimmung der Holzdichte entnommen. Die untersten Stammscheiben, die aus einer Höhe von etwa 30 cm über dem Boden stammten, dienten lediglich der Altersermittlung. Außerdem wurde aus dem unteren Abschnitt jedes Stammes zwischen 1 - 5 m Höhe ein 60 - 70 cm langes, nach Möglichkeit gerades und astfreies Stammstück herausgeschnitten. Diese Stammabschnitte, aus denen später die Probekörper für die Festigkeitsprüfungen herausgearbeitet wurden, sollten möglichst repräsentativ für die Schaftteile sein, die den Gebrauchswert der Hainbuche bestimmen. Obwohl am Hiebsort sogleich Schutzmaßnahmen (Abdichten der beiden Hirnflächen von Stammabschnitten und -scheiben mit Paraffin) getroffen worden waren, wies ein Teil des Untersuchungsmaterials aus dem Iran wegen unvorhergesehener Transportschwierigkeiten Schäden auf und konnte daher nicht mehr für die Untersuchungen verwendet werden. Die Ermittlung der Rohdichte, die das Verhältnis zwischen dem Gewicht einer Holzprobe und ihrem Volumen kennzeichnet und die wichtigste Eigenschaft für die Beurteilung der Holzqualität darstellt, sowie die Berechnung der damit in Zusammenhang stehenden Schwindung wurde an sämtlichen Stammscheiben durchgeführt. Aus den Stammscheiben der deutschen Stämme wurden zusätzlich Probekörper für die Bestimmung der Druckfestigkeit gewonnen. Dadurch ergab sich die Möglichkeit, etwaige Veränderungen der Festigkeit bei zunehmender Stammhöhe festzustellen. Die Untersuchung der Druckfestigkeit des persischen Materials beschränkt sich auf den unteren Stammteil, da lediglich die ausgewählten Stammabschnitte dafür zur Verfügung standen. Neben der Druckfestigkeit längs zur Faser wurde auch die Druckfestig-

keit quer zur Faser an deutschem und persischem Material ermittelt. Die benötigten Probekörper wurden ebenfalls aus den Stammabschnitten gewonnen. Die restlichen, noch 50 - 60 cm langen Versuchshölzer dienten der Prüfung von Biege- und Schlagbiegefestigkeit.

Im Laboratorium wurden die Stammscheiben und -abschnitte glatt gehobelt und anschließend die Einzelproben unschematisch, aber möglichst gleichmäßig über den Querschnitt verteilt, eingezeichnet, so daß alle Querschnittszonen entsprechend ihrem Volumenanteil vertreten waren.

Nachdem die Verteilung der Proben über dem Stammquerschnitt auf Pausen festgehalten worden war, wurden die Probekörper in der Schreinerei einzeln herausgearbeitet. Ihre Abmessungen sowie die weitere Behandlung und Prüfung entsprachen den einschlägigen deutschen Normvorschriften (DIN 52180, 52182, 52183, 52184, 52185, 52186 und 52189). Die Rohdichteproben wurden in feuchtem und gedarrtem Zustand gemessen und gewogen, die Festigkeitsproben im Klimaraum bei einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Feuchtigkeit von 65 % (Normklima) bis zum Feuchte-Gleichgewichtszustand gelagert und sodann ebenfalls gemessen und gewogen. Die Abmessungen aller Proben wurden stereometrisch auf 10^{-3} cm genau bestimmt und daraus die Volumina berechnet. Die Gewichtsbestimmungen erfolgten bei den Rohdichte- und Druckfestigkeitsklötzchen auf 10^{-3} , bei Biege- und Schlagbiegestäben auf 10^{-2} g Genauigkeit. Sämtliche Meßwerte wurden für die späteren Berechnungen in Klarschriftbelegen eingetragen. Die statischen Festigkeiten wurden an einer Universalprüfmaschine mit 10 t Höchstlast in den entsprechenden Lastbereichen bestimmt. Für die dynamischen Festigkeitsuntersuchungen wurde ein Pendelschlagwerk von 10 kpm Arbeitsinhalt benützt. Der E-Modul wurde im Biegeversuch nach der Formel 204 von KOLLMANN (1951) aus der Differenz der Durchbiegung bei einer Belastung von 5 kp und 55 kp bestimmt. Zur Ermitt-

lung der genauen Prüffuchteigkeit sowie der Rohdichte der Proben in diesem Zustand mußten diese nach der Prüfung gedarrt und erneut gewogen werden. Alle Festigkeits- und Rohdichtewerte wurden auf eine einheitliche Holzfeuchteigkeit von 12 % abgestellt und - soweit notwendig - nach den in der Tabelle 6 angegebenen Formeln umgerechnet.

Tabelle 6

Festigkeitsart	Umrechnungsformel
Druckfestigkeit in Faserrichtung	$\sigma_{D12} = \sigma_{Du} \times \frac{20}{32-u}$
Druckfestigkeit quer zur Faserrichtung	$\sigma_{D12} = \sigma_{Du} \times \frac{28}{40-u}$
Biegefestigkeit	$\sigma_{B12} = \sigma_{Bu} \times \frac{36}{42-u}$
E-Modul	$E_{12} = E_u \times \frac{36}{48-u}$
Schlagbiegefestigkeit	$1 \% \Delta_u = 3 \% \Delta_a$

3.2.4 Statistische Auswertungen

Die Ergebnisse der Rohdichte- und Festigkeitsuntersuchungen wurden zunächst stammweise ausgewertet und sodann gebietsweise zusammengefaßt.

Es interessieren zunächst die für das Gesamtmaterial berechneten Mittelwerte, die sich aus den Einzelwerten aller untersuchten Holzeigenschaften des umfangreichen und weitgestreuten Untersuchungsmaterials aus dem Iran und Süddeutschland ergeben. Ein Vergleich dieser Mittelwerte mit den aus der Literatur für Hainbuche und anderen wich-

tigen Laubholzarten bekannten Werten vermag bereits wertvolle Hinweise für gewisse Verwendungsmöglichkeiten zu geben. Zur weiteren Kennzeichnung von Festigkeitseigenschaften und Rohdichte wurden die Häufigkeitsverteilungen der verschiedenen Kollektive dargestellt. Sie vermitteln einen ersten Überblick über die Variabilität der einzelnen Holzeigenschaften. Da aus den Häufigkeitskurven allein keine eindeutigen Aussagen über eine bestimmte Eigenschaft abgeleitet werden können, wurden für alle geprüften Merkmale auch die mittleren quadratischen Abweichungen bzw. die Streuungen berechnet. Zur besseren Vergleichbarkeit werden nicht nur die absoluten Werte der mittleren quadratischen Abweichungen angegeben, sondern auch die jeweils auf die Mittelwerte bezogenen relativen Abweichungen, die sogenannten Variationskoeffizienten. Da in der Regel ein enger Zusammenhang zwischen Rohdichte und Festigkeitseigenschaften besteht, werden die Festigkeitswerte auch rohrichtebezogen dargestellt. Diese werden durch die statischen Gütezahlen ($\frac{\text{Quotient Festigkeit}}{\text{Rohdichte}}$) oder die dynamische Kennzahl ($\frac{\text{Bruchschlagarbeit}}{\text{Rohdichte}^2}$) ausgedrückt.

Dadurch sind Festigkeitsvergleiche verschiedener Stämme oder Kollektive unter Ausschaltung des Rohdichteinflusses möglich.

Für die Auswertung wurden die auf den Klarschriftbelegen erfaßten Meßwerte auf einen IBM 1287 Belegleser eingelesen. Dadurch wurde eine Übertragung der Werte aus den Aufnahmelisten in Lochkarten oder andere Datenträger vermieden, wodurch einerseits Zeit gespart werden konnte und andererseits Lochfehler ausgeschaltet wurden. Die eingelesenen Daten wurden aufgelistet und auf Schreib- und Lesefehler grob vorgeprüft. Die Aufbereitung sowie die Auswertungen erfolgten auf einer EDV-Rechenanlage IBM 360-50, wobei für die Berechnung der einzelnen Versuche 11 verschiedene Auswertungsprogramme in FORTRAN IV geschrieben wurden. Die Ergebnisse wurden aufgelistet und gleichzeitig auf einer

Magnetplatte abgespeichert. Sie wurden statistisch geprüft, wobei das Hauptgewicht auf analytische Berechnungen gelegt wurde. Verwendet wurden dabei statistische Programme der University of California, die Biomedical Computer Programs.

Zunächst wurde mit dem Programm BMD 02D (Correlation with Transgeneration) ein Überblick über den Zusammenhang der einzelnen Größen geschaffen. Durch die graphische Darstellung (siehe nachfolgendes Beispiel) war es leicht möglich, Ausreißer festzustellen. Als Ausreißer wurden Werte betrachtet, die mehr als die dreifache Streuung vom jeweiligen Mittelwert abweichen.

Gleichzeitig wurden die Beziehungen zwischen Rohdichte, Schwindmaß und Druckfestigkeit einerseits und der Stammhöhe andererseits mittels der Korrelationskoeffizienten geprüft. Da sich herausstellte, daß die Höhe der Probenahme im Stamm, bzw. die Rohdichte der Holzproben, einen statistisch gesicherten Einfluß auf die Festigkeitseigenschaften hatten, wurden deren Einflüsse ausgeschaltet indem sie als Kovariat in einer Kovarianzanalyse Eingang fanden. (BMD 04 V) Dabei wurde geprüft, ob sich das Material aus Persien und Deutschland, bzw. das Material aus den drei Untersuchungsgebieten des Iran in Bezug auf die Festigkeitseigenschaften statistisch unterscheiden läßt. Außerdem wurde die Rohdichteverteilung auf den Stammquerschnitten kovarianzanalytisch überprüft. Vermutete Zusammenhänge zwischen einzelnen Holzeigenschaften, wie z.B. Festigkeit-Rohdichte, wurden regressionsanalytisch untersucht. Dabei wurden lineare ($Y = a + b_1x$) und quadratische ($Y = a + b_1x + b_2x^2$) Ausgleichsfunktionen benutzt. An Hand des berechneten F-Werts konnten die Abhängigkeitsverhältnisse zwischen den entsprechenden Größen festgestellt werden. Dabei wurde von der Überlegung ausgegangen, daß die Darstellung einer Beziehung durch die Regressionsrech-

[illegible]

nung erst zweckmäßig ist, wenn das Bestimmtheitsmaß (B), wie LINDER (1951) das Quadrat des Korrelationskoeffizienten bezeichnet, größer als 50 % ist.

Mit Hilfe der t-Werte konnte die Signifikanz der Regressionskoeffizienten für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 bzw. 1 % getestet werden. Anschließend wurden die Regressionskurven der einzelnen Untersuchungen dargestellt.

3.3 Untersuchungsergebnisse

3.3.1 Anatomische Eigenschaften des Hainbuchenholzes

3.3.1.1 Makroskopische und mikroskopische Merkmale

Das gelblichweiß bis grauweiße Holz der Hainbuche ist durch einen relativ homogenen Aufbau gekennzeichnet, Kern und Splint unterscheiden sich kaum voneinander. Die Jahrringgrenzen sind makroskopisch meist nicht deutlich zu erkennen und zeigen auf dem Hirnschnitt einen leicht welligen Verlauf. Deutlich zu sehen sind auf dem Querschnitt schmale, unscharf begrenzte Streifen, die für die Hainbuche charakteristischen zusammengesetzten Holzstrahlen. Im Bildungsbereich dieser Holzstrahlen (sog. Scheinmarkstrahlen) ist der Radialzuwachs im allgemeinen schwächer, so daß es hier zu Einbuchtungen kommen kann, die besonders an den Jahrringgrenzen deutlich werden. Die mit der Lupe erkennbaren Gefäße sind ziemlich gleichmäßig über den ganzen Jahrring verteilt und treten meist in radialer Richtung gehäuft auf. Nach der Einteilung von BRAUN (1970), der für die Hölzer 17 Bautypen unterscheidet, gehört das zerstreutporige Hainbuchenholz zum "Alnus glutinosa-Bautyp", den er auf folgende Weise kennzeichnet "Grundgewebe aus Fasertracheiden. Gefäße mikropor und vielfach durchbrochen. Spärlicher Tüpfelkontakt zwischen den Fasertracheiden des Grundgewebes und den Gefäßen. Paratracheales Kontaktparenchym nur in Einzelsträngen. Gefäßnetze jahresringeigen,

über die Jahrringgrenzen durch radiale Tracheidenreihen verbunden".

Das Wasserleitgewebe setzt sich aus Gefäßen und Tracheiden zusammen. Die Gefäße sind zum Teil einzeln, überwiegend aber in radialen Reihen (Porenstrahlen) mit 2 bis 8 hintereinanderliegenden Gefäßen oder vielfach auch nesterartig zusammengedrängt (bis zu etwa 12) angeordnet (vgl. Abb. 10). Die Form der einzelstehenden Gefäße ist leicht oval, innerhalb von Gefäßgruppen entstehen jedoch nach Größe und Ausformung die verschiedensten Querschnitte, auch extrem schmale und kantige. Zwischen Früh- und Spätholzgefäßen zeigen sich keine auffallenden Größenunterschiede. Die Gefäßwände, insbesondere die tangentialen, sind dicht mit runden Hoftüpfeln besetzt (vgl. Abb. 11 a), deren Öffnungen spaltförmig bis elliptisch ausgebildet sind. Bei besonders dichtem Auftreten können die Umrisse der Tüpfel auch eckig sein. Auffallend sind die fast überall vorhandenen relativ zarten, spiraligen Verdichtungsleisten an den Gefäßwänden, die in schmalen Gefäßen oft besonders deutlich zu sehen sind (vgl. Abb. 11 b und c). Die Gefäßdurchbrechungen (Perforationen) sind einfach und haben eine leicht elliptische Form. An den Enden verjüngen sich die Gefäße plötzlich und laufen in abgerundete Spitzen aus. Die weniger häufig auftretenden dünnwandigen Tracheiden stimmen in ihrem anatomischen Aufbau im wesentlichen mit den Gefäßen überein. Sie besitzen ebenfalls spiralige Verdichtungsleisten und weisen eindeutige Hoftüpfel auf, sind aber im Gegensatz zu den Gefäßen nicht perforiert. Zuweilen kommen auch Übergangsformen zwischen Gefäßen und Tracheiden vor, die nicht wie die Gefäße mehrfach durchbrochen sind, sondern nur an der Spitze oder irgendwo im Mittelabschnitt eine einzige Perforation aufweisen. An den Jahrringgrenzen stellen radiale Tracheidenreihen die Verbindung zum Gefäßnetz des folgenden Jahrrings her.

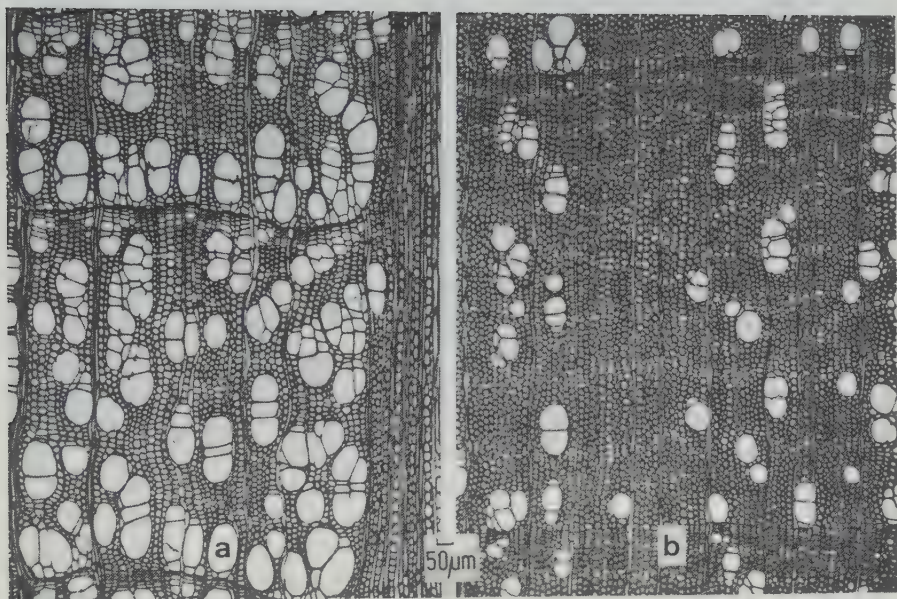


Abb. 10 Querschnitte durch Hainbuchenholz
 a) hoher Gefäßanteil
 b) geringer Gefäßanteil

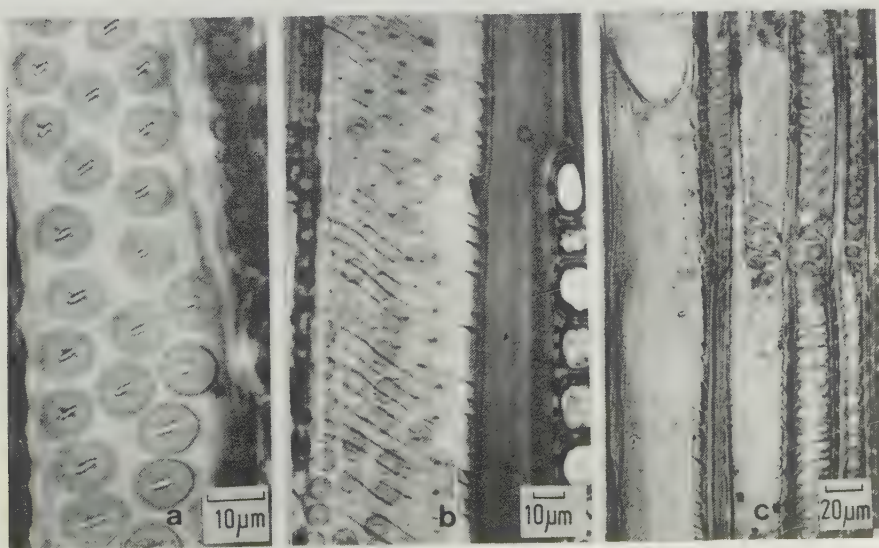


Abb. 11 Tangentialschnitte durch Hainbuchenholz
 a) Gefäßwand mit Hoftüpfeln
 b) und c) Gefäßwände mit spiraligen Verdickungsleisten

Das Stütz- und Festigungsgewebe ist aus Fasertracheiden aufgebaut, deren Wanddicke beträchtlich variieren kann (Abb. 12). Sie besitzen relativ kleine Tüpfel, die im wesentlichen auf den radialen Wänden zu finden sind. Nach BRAUN (1970) handelt es sich dabei um Hoftüpfel, während GREGUSS (1959) sie als einfache Tüpfel anspricht. Auf jeden Fall zeigen die Fasertracheiden einen spaltförmigen Tüpfelkanal, der sich jeweils in Richtung auf die benachbarte Zelle trichterförmig öffnet (Abb. 13). Diese runde oder leicht ovale Öffnung ist in der Aufsicht als Kreis sichtbar, der aber die Größe des spaltförmigen Tüpfelkanals nicht überschreitet (Abb. 11 b). Die am Ende der Vegetationsperiode gebildeten Fasertracheiden sind leicht abgeplattet, wodurch die Jahrringgrenze erkennbar wird (Abb. 12).

Anteil und Ausformung der Holzstrahlen variieren beträchtlich. Sie sind undeutlich heterogen und können sowohl einreihig, wie auch zwei- und dreireihig sein, in den zusammengesetzten Holzstrahlen liegen sogar bis zu fünf und sechs Zellreihen nebeneinander. Die Mehrschichtigkeit beschränkt sich häufig auf den mittleren Teil des Holzstrahls, so daß er oben und unten einschichtig ausläuft (Abb. 14, 15). Die Höhe schwankt zwischen 1 bis etwa 65 Zellen, (Abb. 15) in zusammengesetzten Strahlen sind mitunter sogar 100 bis 150 Zellen übereinander anzutreffen GREGUSS (1959). Durchmesser und Form der Holzstrahlenzellen sind ebenfalls verschieden; aus tangentialer Sicht bilden sich runde, ovale und auch eckige Querschnitte, die Kantenzellen erscheinen zum Teil kegelförmig zugespitzt. Im Radialschnitt lassen sich liegende Zellformen verschiedener Länge und Breite erkennen, deren Querwände meist schräg verlaufen. In Einzelfällen sind die Kantenzellen höher als breit oder haben geschwungene Umrisse (Abb. 16). Die Wanddicke bleibt im allgemeinen jedoch gleich. Die Verbindung des Holzstrahlgewebes mit dem wasserleitenden System

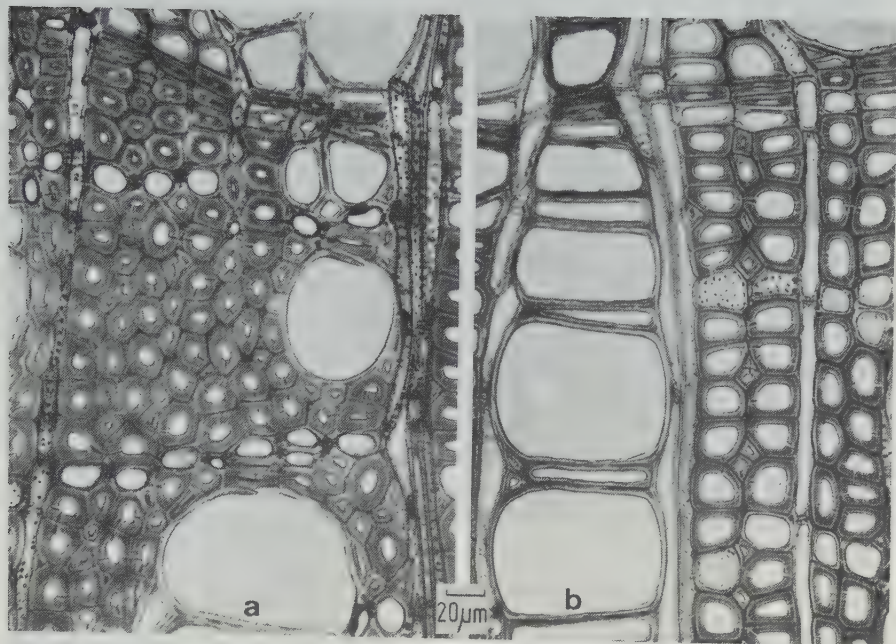


Abb. 12 Querschnitte durch Hainbuchenholz

- a) Fasertracheiden dickwandig
- b) Fasertracheiden dünnwandig

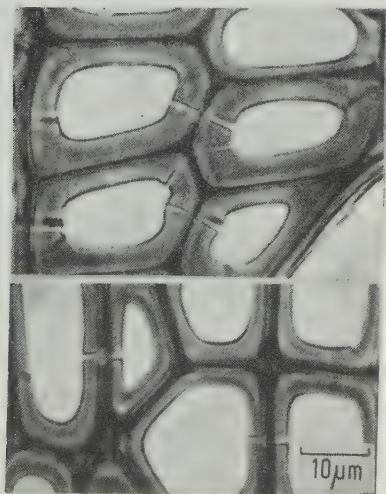


Abb. 13 Tüpfelkanäle in
Fasertracheiden

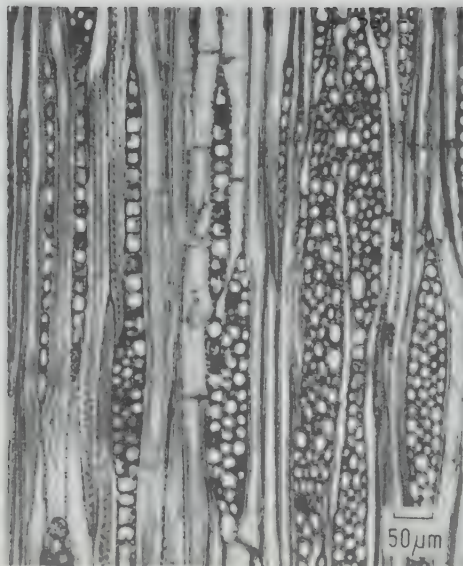


Abb. 14 Verschiedene Ausformung
der Holzstrahlen
(Tangentialschnitt)

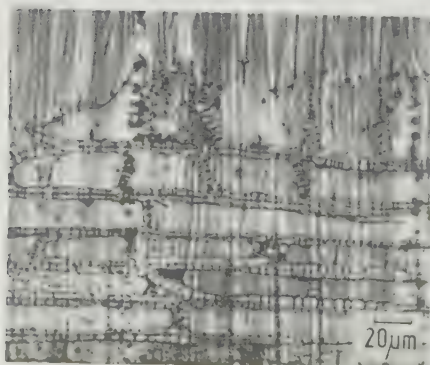


Abb. 16 Kantenzellen von Holz-
strahlen im Radial-
schnitt

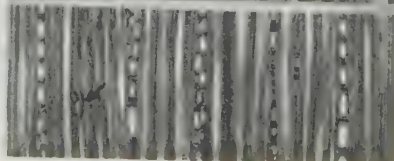
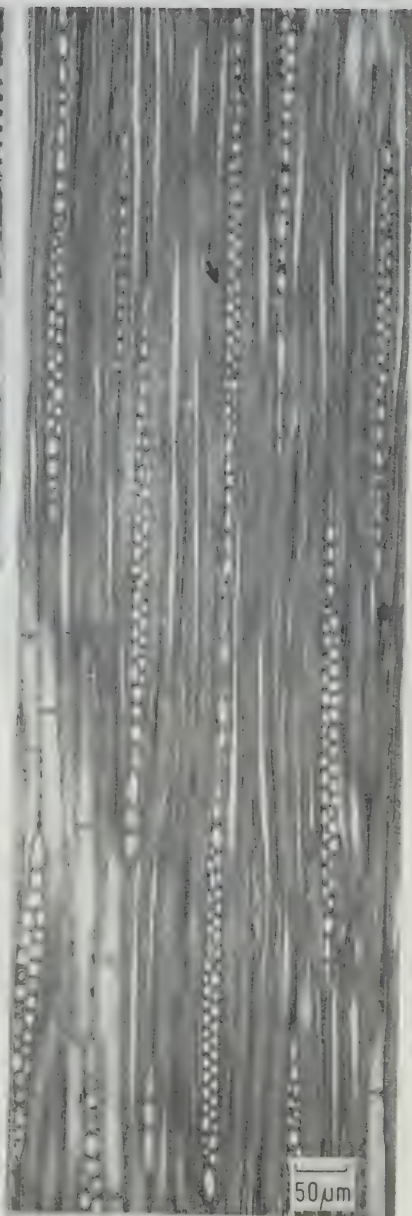


Abb. 15

bilden "Kontaktzellen" mit einer Vielzahl großer Tüpfel zu den benachbarten Gefäßen. Daneben finden sich im Mittelteil der Holzstrahlen auch Isolationszellen ohne direkten Kontakt zum Hydrosystem. In einem weiteren Entwicklungsstadium wird der mittlere Strahlenteil mehrschichtig, "so daß, eingerahmt von äußeren Isolationszellen auch Innenzellen entstehen". (BRAUN) 1970, Abb. 17). BRAUN, der die Holzstrahlentypen unter entwicklungsgeschichtlichen Aspekten in erster Linie nach dem Merkmal der Kontakt-Isolations-Differenzierung gegenüber dem Hydrosystem klassifiziert hat, beschreibt die Holzstrahlen von *Carpinus betulus* folgendermaßen: "2phasige Kontakt-Isolations-Holzstrahlen mit liegenden Kontaktzellen im Frühstadium und liegenden Isolationszellen im Folgestadium der Strahlenentwicklung, mehrschichtig". Daneben besitzt die Hainbuche auch einschichtige Kontakt- und Isolationszellen. Die im Hainbuchenholz auftretenden zusammengesetzten Holzstrahlen enthalten eine Vielzahl von schmalen, dicht beieinanderliegenden Holzstrahlen, zwischen denen jeweils eine oder mehrere Faserreihen, jedoch keine Gefäße eingelagert sind. Dadurch entsteht im makroskopischen Bild, wo die sogenannten Scheinmarkstrahlen noch mehr als im mikroskopischen Schnitt auffallen, der Eindruck breiter, hoher Strahlen.

Axisles Parenchymgewebe kommt im ganzen Jahrring verstreut oder - im dichten Holz besonders deutlich - in tangentialen Bändern angeordnet vor. Die einzelnen Zellen sind langgestreckter als in den Holzstrahlen (Abb. 10, 18).

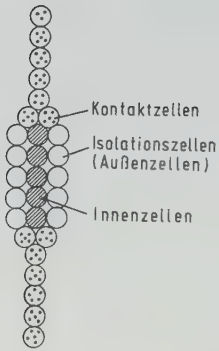


Abb. 17 Schematische Tangentialansicht eines Holzstrahls vom K I-l - m - Typ
(Nach BRAUN, WOLKINGER U. BÖHME 1968)
(BRAUN 1970)

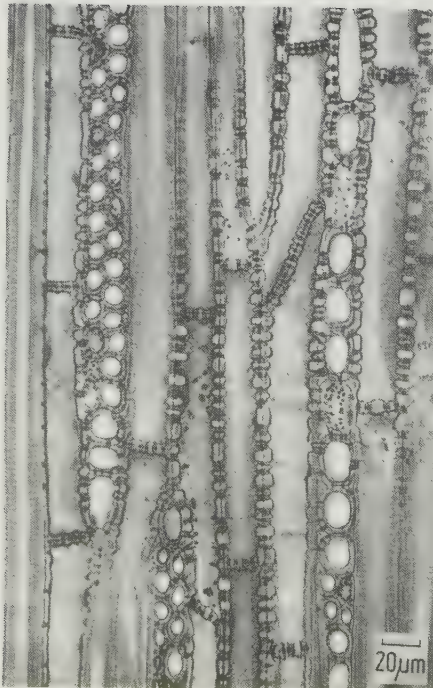


Abb. 18
Quer- und Längsparenchym
im Tangentialschnitt

3.3.1.2 Gewebedichte und Verholungsgrad

Wie in einem späteren Abschnitt gezeigt werden wird, weist das vorliegende Untersuchungsmaterial offensichtlich recht erhebliche Dichteunterschiede auf, die durch die Unterschiede im mikroskopischen Aufbau des Holzes bedingt sind. Es erschien daher zweckmäßig, an einigen ausgewählten Beispielen Messungen über das Verhältnis von Zellwand- und Lumenanteil durchzuführen. Hierfür wurden von Rohdichteproben aus der äußersten 4 cm-Zone der persischen Stämme mit den geringsten und höchsten mittleren Rohdichtewerten (Stamm Nr. 8 und 13) und einem Stamm aus Deutschland, der eine mittlere Rohdichte repräsentiert (Nr. II), Mikroschnitte von 8 Mikron Dicke angefertigt und mit Safranin gefärbt. Die Messungen der Zellwand- und Lumenanteile wurden unter Verwendung eines Punktrasters, wie ihn in ähnlicher Weise auch SCHULZ (1957) und SCHALCK (1967) angewandt haben, durchgeführt. Der Raster, der aus einem Quadrat von 10 x 10 Punkten in Abständen von 1 cm bestand, war auf die Projektionsfläche gezeichnet. Um Fehlerquellen zu vermeiden, wurde darauf geachtet, daß die Abstände zwischen zwei nebeneinanderliegenden Punkten eine andere Größenordnung haben als die mittleren Zelldurchmesser. An auf diesen Punktraster projizierten anatomischen Strukturbildern wurde registriert, wieviele Punkte auf Zellwand und Zellumen erschienen, wobei beim Lumenanteil Gefäße und "Nichtgefäße" gesondert erfaßt wurden. Da die Holzelemente der Hainbuche keine auffallenden Größenunterschiede in den Früh- und Spätholzzone aufweisen und Gefäße und Tracheiden im großen und ganzen gleichmäßig über die Querfläche verstreut sind, konnten die Rasterfelder für die Messungen unabhängig von den Jahrringgrenzen in regelmäßigen Abständen über die Schnittfläche verteilt werden. Hierfür wurden in eine Metallfolie auf einer Fläche von 7 x 4 mm 20 schematisch angeordnete Löcher mit einem Durchmesser von 0,5 mm gebohrt, und auf das Präparat aufgeklebt. Vor Beginn der Messungen war da-

rauf zu achten, daß das quadratische Rasterfeld im Zentrum des projizierten Bildes lag. Auf diese Weise wurde eine zufällige, nicht subjektiv beeinflusste Auswahl der Stichproben (20 x 100 Messungen) sichergestellt.

Die Dichte des Hainbuchenholzes hängt vor allem von zwei Faktoren ab:

- 1) vom Gefäßanteil
- 2) von Wanddicke und Durchmesser der Fasertracheiden, d.h. also dem Verhältnis von Wand und Lumen innerhalb des Stützgewebes.

Auch der Anteil und die Ausformung des parenchymatischen Gewebes ist vermutlich nicht ganz ohne Einfluß auf die Holzdichte, da die Häufigkeit der normalen und der zusammengesetzten Markstrahlen variabel ist und die Lumina der Parenchymzellen unterschiedlich groß sein können, wenn auch deren Zellwanddicke relativ konstant bleibt. +)

Die nach der oben beschriebenen Rastermethode ermittelten mittleren Wand- und Lumenanteile wurden in der nachfolgenden Abb. 19 graphisch aufgezeichnet.

Wie bereits wegen der verschiedenen Rohdichte der als Beispiele gewählten Proben zu vermuten war, unterscheiden sich die gefundenen Werte beträchtlich. Das besonders schwere Holz der Probe 1 aus Stamm 13 (Persien) mit der Rohdichte $\rho_0 = 0,876 \text{ g/cm}^3$ hat einen extrem hohen Wandanteil von über 60 %. Sein Lumenanteil wird hauptsächlich durch die Hohlräume in Fasertracheiden und Parenchymzellen dargestellt und nur zu einem geringen Teil durch den von Gefäßen eingenommenen Raum. Innerhalb des Grundgewebes, das sich aus Tracheiden, Fasertracheiden und parenchymatischen Geweben zusammensetzt, erreicht der Wandanteil fast 68 % (siehe Abb. 19 Kreis über der Säulendarstellung).

Probe 2 (aus Stamm II, Deutschland) mit der für Hainbuche

+) Eine gewisse Fehlerquelle bei mikroskopischen Messungen kann die Überschätzung des Wandanteils der Markstrahlenzellen sein, da namentlich bei nicht sehr dünnen Querschnitten deren Wände fast immer getroffen werden.

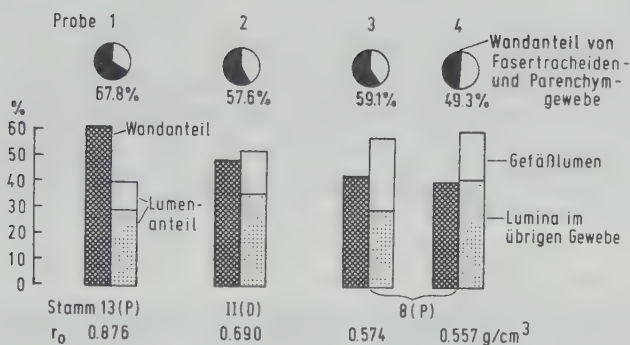


Abb. 19 Wand- und Lumenanteil von verschiedenen dichtem Hainbuchenholz

etwa mittleren Rohdichte von $0,690 \text{ g/cm}^3$ hat einen beträchtlich höheren Gesamtlumenanteil, der ihren Wandanteil um einige % übertrifft; das lockerere Zellgefüge ist hier sowohl durch den größeren Gefäßanteil als auch durch den geringeren Wandanteil im Grundgewebe (57,6 %) gekennzeichnet.

Die Proben 3 und 4 (aus Stamm 8, Persien) haben beide eine verhältnismäßig geringe Rohdichte aufzuweisen, der Grund hierfür aber ist trotz ihrer Herkunft aus demselben Stamm recht verschieden:

Probe 3 hat mit 27,7 % den weitaus höchsten Gefäß-Lumenanteil aller gemessenen Proben, während die Dichte innerhalb des Grundgewebes mit 59,1 % Wandanteil sogar noch etwas größer ist als bei Probe 2. Im Gegensatz dazu ist der Gefäßanteil von Probe 4 mit 18,5 % wesentlich geringer, dafür der "Nichtgefäß"-Lumenanteil umso höher, so daß deren niedere Rohdichte vor allem auf den geringen Wandanteil des Grundgewebes von 49,3 % zurückgeführt werden kann.

Die Unterscheidung zwischen dem Lumenanteil der Gefäße und des übrigen Gewebes hat sich demnach als besonders aufschlußreich erwiesen, da diese beiden Komponenten stark variieren. Dies gilt insbesondere für den Gefäßanteil,

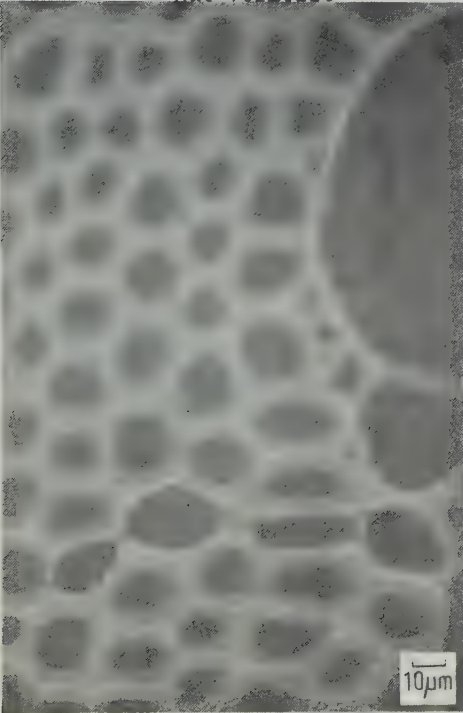
dessen mittlere Werte bei den vorliegenden Beispielen zwischen etwa 10 und 28 % schwankten. Bereits bei der mikroskopischen Durchmusterung von Präparaten war aufgefallen, daß in schwerem Holz die Gefäße weit weniger gehäuft erschienen und zudem kleinere Durchmesser hatten als in leichterem Holz. Auch der Lumenanteil im Grundgewebe, der vor allem von Durchmesser und Wanddicke der Fasertracheiden abhängt, weist beträchtliche Unterschiede auf, wie ebenfalls aus der Abb. 19 hervorgeht. Es leuchtet ein, daß die Variation der mikroskopischen Strukturmuster innerhalb desselben Dichtebereichs bei leichterem Holz größer ist als bei besonders schwerem, wo der hohe Wandanteil einen geringen Porenraum sowohl von Gefäßen als auch von Fasertracheiden bedingt. Als Beispiel hierfür können die beiden untersuchten Proben aus Stamm 8 gelten, deren relativ niedrige Dichte in einem Fall vorwiegend durch den hohen Gefäßanteil, im anderen Fall durch das locker gebaute Grundgewebe zustande gekommen war.

An einer begrenzten Zahl von Mikroschnitten wurde eine lediglich zur Orientierung dienende Untersuchung der Verholzung im Fasertracheidengewebe mit Hilfe der "Acridin-Orange-Methode" (v. AUFSESS 1973) durchgeführt. Dabei wurden Mikroschnitte aus Holzproben verschiedener Stämme mit diesem Farbstoff fluorchromiert und im fluoreszierenden Licht betrachtet, wobei aus der Art der Anfärbung Rückschlüsse auf den Grad der Verholzung gezogen werden können. Gut verholzte Zellwände erscheinen dabei grün-gelb bis hellgelb, bei schwächerer Verholzung wird durch stärkere Farbstoffanreicherung die rötliche Komponente mehr betont, so daß Übergänge bis zu orangeroten Farbtönen entstehen (Abb. 20).

In keinem Fall wurde typisches Zugholz mit verdickten, sogenannten gelatinösen Sekundärwänden gefunden, wie es etwa in der Buche so häufig ist. Immerhin gab es sehr deutliche Anzeichen von verschieden starker Verholzung: nur ein Teil der Schnitte fluoreszierte vorwiegend hell-

gelb, während andere sich gelborange färbten. Außerdem zeigten manche Proben deutlich abgesetzte, orangefarbene, zugholzähnliche Zellwandschichten im Fasertracheidengewebe, wie sie beispielsweise auch bei der Esche gelegentlich zu beobachten sind.

gut verholzt



schwach verholzt

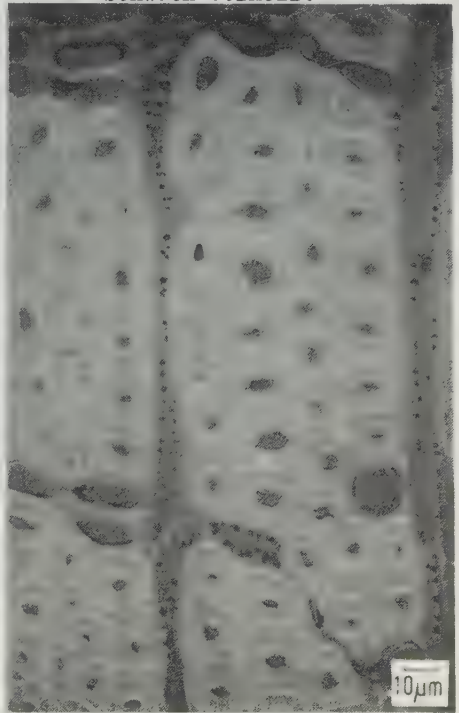


Abb. 20 Querschnitte durch Hainbuche mit verschiedenen stark verholzten Wandschichten in den Fasertracheiden
Fluoreszierendes Licht, Fluorochromierung mit Acridin-Orange.

3.3.2 Die Rohdichte der Hainbuche

3.3.2.1 Literaturangaben

Die Rohdichte ist das Verhältnis zwischen dem Gewicht (Masse) und dem Volumen des porigen Körpers Holz. Im Falle der Darrdichte ρ_0 - von der im Rahmen dieser Arbeit hauptsächlich die Rede sein soll - wird sowohl Gewicht als auch Volumen in darrtrockenem Zustand ermittelt und der Quotient aus den beiden Größen in g/cm^3 ausgedrückt, während bei der Raumdichte das Darrgewicht auf das Frischvolumen bezogen und der Quotient in kg/m^3 angegeben wird.

Die Rohdichte, die in unmittelbarem Zusammenhang mit zahlreichen technolog. Eigenschaften des Holzes steht, stellt einen zentralen Richtwert dar, der über sein Festigkeitsverhalten und für seine Verwendungsmöglichkeiten wichtige Hinweise geben kann. Für bestimmte Verwendungszwecke, wie z.B. für die chemische Verarbeitung des Holzes oder auch für die Spanplattenherstellung ist sie von unmittelbarer praktischer Bedeutung, da sie sich auf die Ausbeute an Zellstoff wie auch auf die Platteneigenschaften auswirkt. Daher ist für die Beurteilung der Verwendbarkeit einer Holzart die Kenntnis ihrer Rohdichte sowie deren Verteilung auf Stammhöhe und Stammquerschnitt von besonderem Interesse. Ihre Ermittlung und Untersuchungen über die Einflüsse, die für die erheblichen Schwankungen innerhalb einer Baumart, oft sogar innerhalb eines Baumindividuums verantwortlich sind, nehmen seit langem einen breiten Raum in der Holzforschung ein.

Die wenigen Literaturangaben über die Rohdichte von Hainbuchenholz stammen meist aus Veröffentlichungen über eine größere Zahl von Holzarten und schwanken überdies beträchtlich, wie die folgende Zusammenstellung zeigt.

FRANK	1954	0,790 g/cm ³
GHELMEZIU U.ISTRATE	1960	0,830 "
GOTTWALD	1958	0,719 "
JANKA	1915	0,780 "
KEYLWERTH	1962	0,695 "
KOLLMANN	1951	0,790 "
LAZARESCU u.a.	1963	0,844 "
TABATABAI u.a.	1965	0,679 "
TRENDELENBURG/MAYER-WEGELIN	1955	0,790 "

Dies gibt Grund zu der Annahme, daß die Werte auf einem relativ beschränkten Untersuchungsmaterial beruhen und deshalb nicht ohne Vorbehalt als repräsentative Mittelwerte angesehen werden können. Unterschiede in der Auswahl und im Umfang des Materials erschweren nach KEYLWERTH (1955) die Betrachtung früherer Ergebnisse und die Einordnung eigener Ergebnisse in das Gesamtbild einer Holzart. Daher vermitteln die obenstehenden Angaben in erster Linie einen Überblick über die Streuung und die Variationsbreite der Dichte des Hainbuchenholzes. Die von GOTTWALD(1958) an drei Stämmen aus drei verschiedenen Provinzen bestimmten Größen dürften für mitteleuropäische Verhältnisse am zutreffendsten sein. Erheblich über diesen Zahlen liegen dagegen die von GHELMEZIU und ISTRATE (1960) in Rumänien ermittelten Werte. Diese Autoren untersuchten 7 Stämme aus 2 verschiedenen Wuchsgebieten, die Proben wurden jedoch nur aus den unteren Stammteilen (0,3 - 2 m Stammhöhe) entnommen, wodurch das sehr dichte Holz des Stammfußes zu stark ins Gewicht fällt.

3.3.2.2 Die Rohdichte des deutschen und persischen Untersuchungsmaterials

Bei den eigenen Untersuchungen wurden die Rohdichte und die Raumdichte von 14 Stämmen aus drei verschiedenen Wuchsgebieten des Iran und von 3 Stämmen aus zwei süddeutschen Wuchsgebieten bestimmt. Die für das Gesamtma-

terial ermittelten Werte sind in Tabelle 7 zusammengestellt. Überraschenderweise unterscheiden sich die Rohdichte-Mittelwerte des persischen und des deutschen Untersuchungsmaterials nur unwesentlich. Beim Vergleich der Zahlen fällt jedoch auf, daß der Mittelwert der Rohdichte ρ_0 der persischen Proben unmerklich geringer, der Mittelwert der Raumdichte hingegen spürbar höher als die Mittelwerte der verglichenen süddeutschen Probestämme liegt. Auf diesen Umstand wird beim Vergleich der Schwindungseigenschaften nochmals einzugehen sein.

Tabelle 7 Rohdichte und Raumdichte des Gesamtmaterials aus dem Iran und Deutschland

$\rho_0 \text{ g/cm}^3$	Persien	Deutschland
Mittelwert	0,705	0,710
Streuung	0,0718	0,0396
Variationsbreite	0,507 - 0,924	0,619 - 0,826
Variationskoeffizient	10,2 %	5,6 %
$R \text{ kg/m}^3$	Persien	Deutschland
Mittelwert	592,10	578,77
Streuung	51,6513	25,7765
Variationsbreite	445,264 - 755,927	521,315 - 670,646
Variationskoeffizient	8,7%	4,4%

Die errechneten Rohdichte-Mittelwerte von 0,705 und 0,710/cm³ liegen unter dem von KOLLMANN (1951) und TRENDLENBURG/MAYER-WEGELIN (1955) angegebenen Wert von 0,799/cm³ und entsprechen in ihrer Größenordnung etwa den Angaben von KEYLWERTH (1962) oder GOTTWALD (1958). Aus der Übereinstimmung der persischen und der deutschen Mittel-

werte kann jedoch noch nicht auf die Gleichartigkeit beider Kollektive geschlossen werden. Schon der Vergleich der Häufigkeitsverteilung weist auf beträchtliche Unterschiede hin. Abb. 21 zeigt, daß die Rohdichte-Verteilungskurve der deutschen Stämme trotz geringerer Probenzahl als bei den persischen gut ausgeglichen ist und einer normalen Verteilungskurve sehr nahekommt. Auch die persischen Hainbuchen zeigen eine fast normale Rohdichteverteilung, dagegen treten erhebliche Unterschiede in der Variationsbreite der beiden Kollektive auf, die Dichte der persischen Hainbuchen streut in einem weit größeren Rahmen als die der deutschen Stämme. Das machen auch die sehr unterschiedlichen Werte der Streuung ($\pm 0,0396 \text{ g/cm}^3$ für die deutschen bzw. $\pm 0,0718 \text{ g/cm}^3$ für die persischen Hainbuchen) und der Variationskoeffizienten (5,6 bzw. 10,2 %) deutlich. Bei den deutschen Hainbuchen entspricht der häufigste Wert ($0,71 \text{ g/cm}^3$) dem gefundenen arithmetischen Mittelwert der Rohdichte, während der erstere bei persischen Hainbuchen mit $0,67 \text{ g/cm}^3$ wesentlich unter dem Mittelwert von $0,705 \text{ g/cm}^3$ liegt.

3.3.2.3 Variation der Rohdichte in verschiedenen persischen Wuchsgebieten

Eine Erklärung für die große Streubreite der Rohdichtewerte des persischen Untersuchungsmaterials vermittelt die Abb. 22, die die Häufigkeitskurven der Rohdichtewerte für die Einzelstämme wiedergibt, von denen einige verhältnismäßig leichtes und andere ungewöhnlich schweres Holz gebildet hatten. Es lag nahe, darin einen Einfluß des Wuchsgebietes zu vermuten, daher soll zunächst auf diese Frage näher eingegangen werden. Über den Zusammenhang zwischen Rohdichte und Wuchsgebiet bzw. Standort liegen für eine Reihe mitteleuropäischer Baumarten Untersuchungen von verschiedenen Autoren vor. JANKA (1909) und TRENDLENBURG (1934) fanden für verschiedene Nadel-

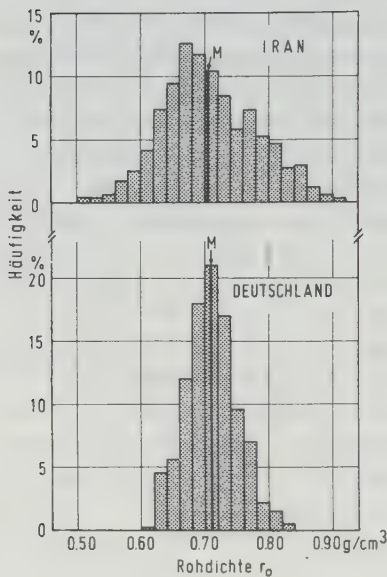


Abb. 21

Häufigkeitsverteilung und Mittelwert der Rohdichte vom persischen und deutschen Untersuchungsmaterial

hölzer, daß neben Wuchsgebiet und Standort als naturgegebene Umweltbedingungen vor allem die Art der Bewirtschaftung der Waldbestände die Dichte des Holzes beeinflusst. Von den meisten Forschern konnte jedoch keinerlei regelmäßige Beziehung zwischen dem Einfluß von Standort und Wuchsgebiet und den Holzeigenschaften festgestellt werden. Es war daher im Rahmen dieser Arbeit ursprünglich nicht beabsichtigt, auf die Einflüsse des Standorts oder der Wuchsgebiete auf die Rohdichte bzw. die Festigkeit des Holzes einzugehen; ein Vergleich der gefundenen Ergebnisse ließ aber gewisse, für die einzelnen Wuchsgebiete typische Unterschiede der Rohdichtewerte erkennen. In der Tabelle 8 wurden deshalb die Rohdichte-Mittelwerte

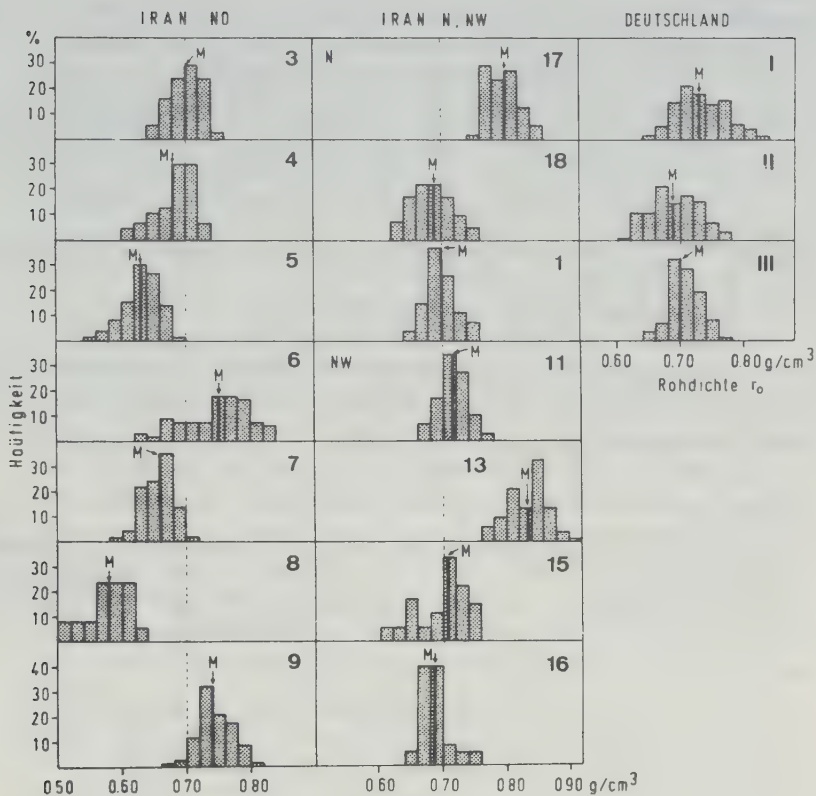


Abb. 22 Häufigkeitsverteilung und Mittelwert der Rohdichte der persischen und deutschen Einzelstämme

der persischen Hainbuchen und ihre Streuungen gebietsweise wiedergegeben und denen der deutschen Stämme gegenübergestellt.

Tabelle 8

Merkmale		Persien			Deutschland
		NO	N	NW	
r_o g/cm ³	Mittelwert	0,681	0,740	0,752	0,710
	Streuung	0,0630	0,0596	0,0732	0,0396
	Variationsbreite	0,507-0,839	0,630-0,852	0,615-0,924	0,619-0,826
	Variationskoeff.	9,2 %	8,0 %	9,7 %	5,6 %
R kg/m ³	Mittelwert	575	615	626	579
	Variationskoeff.	7,9 %	6,5 %	8,6 %	4,4 %

NO = Nordostteil der kaspischen Wälder in Nordpersien(trocken)

N = Nordteil " " (mäß.feucht)

NW = Nordwestteil " " (feucht)

Vergleicht man zunächst die Mittelwerte aller Stämme der drei persischen Untersuchungsgebiete miteinander, so fällt eine relativ große Differenz von 0,071 g/cm³ oder 9,5 % zwischen dem trockenen Gebiet im NO und dem feuchten Gebiet im NW auf, während der Unterschied zwischen dem mäßig feuchten Untersuchungsgebiet im N und dem feuchten im NW-Teil des kaspischen Meeres nur 0,012 g/cm³ oder 1,6 % beträgt, also bedeutungslos ist. Diese Rohdichteschwankungen sind vermutlich auf die unterschiedlichen klimatischen Verhältnisse zwischen den Gebieten im NO und den beiden anderen im N bzw. NW zurückzuführen. Daher erschien es zweckmäßig, beim gebietsweisen Vergleich der Häufigkeitskurven sämtliche Probestämme der beiden klimatisch ähnlichen, mäßig feucht bis feuchten Untersuchungsgebiete im N und NW in

einem Kollektiv zusammenzufassen und den Probestämmen aus den trockenen NO-Flächen gegenüberzustellen, wie dies in Abb. 23 geschehen ist. Die Zweigipfeligkeit der unteren Kurve kommt nicht durch die Zusammenfassung der beiden feuchteren persischen Wuchsgebiete zustande, denn sie war in gleicher Weise schon bei den Einzelkurven der beiden Gebiete in Erscheinung getreten.

Eine Vorstellung von den Rohdichtemittelwerten der Einzeltämme aus den verschiedenen Wuchsgebieten und ihren Streuungen (mittlere quadratische Abweichung) vermittelt auch die Abb. 24, in der die mittleren Streubereiche der einzelnen Wuchsgebiete durch ein Raster gekennzeichnet sind. Ein eindeutiger Einfluß der Herkunft auf das Rohdichteniveau der Probestämme läßt sich daraus nicht ableiten, da Mittelwerte und mittlere quadratische Abweichungen der verschiedenen Stämme aus den einzelnen persischen Wuchsgebieten stark differieren. Im Ganzen gesehen finden sich aber in den trockeneren Gebieten im NO des Irans überwiegend Stämme mit geringerer Holzdichte während die Stämme mit den höchsten Rohdichtewerten aus den feuchten Gebieten im N und NW stammen. Die Werte der deutschen Stämme liegen mehr oder weniger im mittleren Rohdichtebereich. Ähnlich wie beim Gesamtmaterial streuen die Rohdichtewerte innerhalb der verschiedenen Herkünfte des Iran weit mehr als die der deutschen Stämme, was sich auch in entsprechend höheren Variationskoeffizienten ausdrückt (Tab. 8). Das ist sicher zum Teil auf die unterschiedliche Zahl der Probestämme aus Deutschland und Persien zurückzuführen, beruht aber in erster Linie sicher auch auf der Tatsache, daß das persische Material aus klimatisch sehr unterschiedlichen Gebieten stammt, während die Standorte der deutschen Stämme sich nur unwesentlich unterscheiden. Ob darüber hinaus die hier gefundenen Rohdichteunterschiede zwischen dem Material aus den einzelnen Untersuchungsgebieten des Iran oder zwischen dem Gesamtmaterial aus Persien und dem aus Deutschland rein zufällig oder gesichert sind, wurde

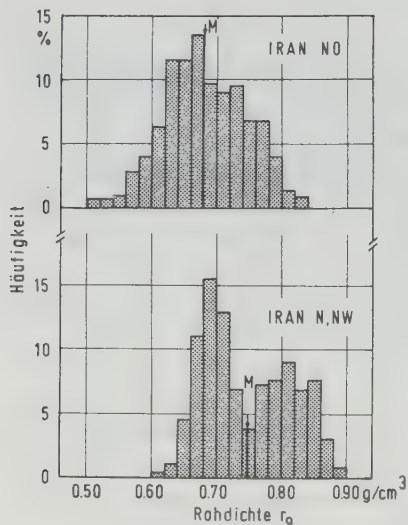


Abb. 23

Häufigkeitsverteilung und Mittelwert der Rohdichte der persischen Hainbuchen nach Wuchsgebieten zusammengefaßt

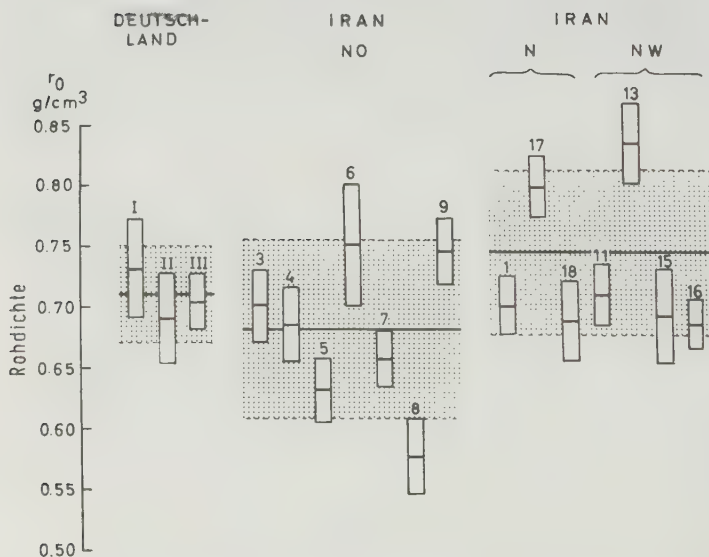


Abb. 24 Rohdichtemittelwerte und Streuung der Einzelstämme des Untersuchungsmaterials

statistisch zu klären versucht. Über die Ergebnisse dieser Berechnungen gibt Tabelle 9 Aufschluß.

Um zunächst einmal festzustellen, ob die Stammhöhe bei der Hainbuche, wie bei den meisten anderen Baumarten, überhaupt einen Einfluß auf die Rohdichte hat, wurde eine Kovarianzanalyse durchgeführt. Das Ergebnis (T-Wert= -11) zeigt, daß die Höhe im Stamm einen gesicherten negativen Einfluß auf die Holzdichte ausübt. Um diesen Einfluß auszuschalten, wurde die Entnahmehöhe als Kovariate in die weiteren Rechnungen einbezogen. Die in der Tabelle angegebenen Rohdichtemittelwerte sind daher gleichsam auf eine einheitliche Stammhöhe bezogene, korrigierte Mittelwerte. Die Ergebnisse bestätigen, daß sowohl die Rohdichteunterschiede zwischen den Stämmen aus dem trockenen Gebiet im NO und den mäßig-feuchten bis feuchten Lagen im N und NW sowie auch zwischen dem Gesamtmaterial aus Deutschland und aus dem Iran hochsignifikant gesichert sind, daß aber andererseits keine gesicherten Unterschiede zwischen dem Material aus dem N und NW bestehen. Welche Faktoren für diese Unterschiede im einzelnen verantwortlich sind, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt werden.

3.3.2.4 Stammweise Rohdichteunterschiede

Die in den verschiedenen persischen Wuchsgebieten gefundenen Rohdichteunterschiede des Hainbuchenholzes werden überlagert durch die bereits erwähnten, ungewöhnlich großen stammweisen Schwankungen im Rohdichteniveau. Sowohl die in der Abb. 22 wiedergegebenen Häufigkeitskurven sowie die in Abb. 24 und Tabelle 10 nach Wuchsgebieten zusammengestellten Stamm-Mittelwerte und ihre Streuungsmaße zeigen eindeutig, daß keinesfalls der Einfluß des Standorts oder des Wuchsgebietes allein das Rohdichteniveau eines Stammes bestimmt, sondern daß hierfür vermutlich neben Umwelteinflüssen und dem Wachstumsablauf in erster Linie auch genetische Faktoren entscheidend sind. Die Rohdichtemittelwerte der persi-

Tabelle 9 Mathematisch statistische Überprüfung der Rohdichteunterschiede zwischen den einzelnen Wuchsgebieten des Iran und zwischen dem Gesamtmaterial aus Persien und Deutschland

Untersuchungsgebiet	NO 0,6890 g/cm ³	N 0,7480 g/cm ³	NW 0,7563 g/cm ³
NO		-0,0590 -8 % * * *	-0,0673 -9 % * * *
N			-0,0083 -1 % -

P.G. 0,7135 g/cm ³	D.G. 0,7012 g/cm ³
	+0,0123 +2 % * * *

- * = Die Beziehungen sind mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P = 0,05$ gesichert.
- * * = Die Beziehungen sind mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P = 0,01$ gesichert.
- * * * = Die Beziehungen sind mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P = 0,001$ gesichert.
- = Die Beziehungen sind nicht gesichert

P.G. = Gesamtmaterial aus Persien

D.G. = Gesamtmaterial aus Deutschland

schen Stämme schwanken in allen Wuchsgebieten in einem weiten Rahmen, wenn auch die Stämme aus den feuchteren Gebieten insgesamt meist schwereres Holz als im trockeneren NO gebildet haben. Extrem schweres Holz weisen 2 Stämme aus dem nördlichen und nordwestlichen Teil der kaspischen Wälder auf: Stamm-Nr. 13 hat eine mittlere Rohdichte von $0,834 \text{ g/cm}^3$ und die des Stammes-Nr. 17 beträgt $0,798 \text{ g/cm}^3$, während die übrigen Stammittelwerte in diesem Gebiet zwischen $0,686$ und $0,717 \text{ g/cm}^3$ liegen. Im nordöstlichen Wuchsgebiet liegt der höchste Stammittelwert bei $0,749 \text{ g/cm}^3$ und der niedrigste bei $0,577 \text{ g/cm}^3$. Die Mittelwerte der deutschen Stämme schwanken dagegen nur zwischen $0,691$ und $0,732 \text{ g/cm}^3$. Auch die Streubreite der Rohdichtewerte ist bei den einzelnen Stämmen unterschiedlich groß: Die Variationskoeffizienten der persischen Stämme schwanken zwischen $3,0$ und $6,7 \%$, die der deutschen liegen zwischen $3,2$ und $5,4 \%$. Innerhalb der persischen Einzelstämme weichen die Grenzwerte maximal um 9% und bei den deutschen Stämmen um 10% von den Mittelwerten ab. Diese Zahlen liegen etwas unter den von v.PECHMANN, v.AUFSESS und BERNHART (1963) für Rotbuchen aus dem Bayerischen Wald oder den von WEDEL (1964) für Bergahorn und sogar beträchtlich unter den für Spitzahorn ermittelten Abweichungen. Die Rohdichteschwankungen innerhalb der Einzelstämme scheinen also bei der Hainbuche etwas geringer zu sein als bei anderen zerstreutporigen Laubbaumarten.

Durch unterschiedliche Wuchsgeschwindigkeiten lassen sich die erheblichen stammweisen Rohdichtedifferenzen kaum erklären, da bei den zerstreutporigen Hölzern die Jahrringbreite keinen entscheidenden Einfluß auf die Holzdicke ausübt. Dagegen besteht naturgemäß ein enger Zusammenhang zu den anatomischen Merkmalen des Holzes, wie der Größe und Zahl der Gefäße oder dem Durchmesser der Fasern und Tracheiden sowie der Dicke ihrer Wände, worauf bereits im

Abschnitt 3.3.1 eingegangen wurde.

Tabelle 10

Stamm Nr.	r_0 g/cm ³	Streuung	Grenzwerte	VarKoeff. %	R kg/ m ³
3 P.	0,701	0,0254	0,644 - 0,748	3,6	588,78
4 "	0,683	0,0301	0,607 - 0,740	4,4	576,85
5 "	0,632	0,0266	0,558 - 0,695	4,2	542,73
6 "	0,749	0,0500	0,638 - 0,839	6,7	624,76
7 "	0,657	0,0222	0,591 - 0,720	3,4	553,11
8 "	0,577	0,0318	0,507 - 0,632	5,5	494,65
9 "	0,745	0,0253	0,676 - 0,810	3,4	622,62
11 "	0,717	0,0250	0,662 - 0,777	3,5	594,04
13 "	0,834	0,0320	0,762 - 0,924	3,8	687,60
15 "	0,692	0,0379	0,615 - 0,763	5,5	583,05
16 "	0,686	0,0206	0,642 - 0,744	3,0	581,05
17 "	0,798	0,0238	0,754 - 0,852	3,0	653,72
18 "	0,687	0,0326	0,630 - 0,760	4,7	578,84
01 "	0,700	0,0228	0,656 - 0,749	3,2	591,23
I D.	0,732	0,0381	0,655 - 0,826	5,2	594,94
II "	0,691	0,0371	0,619 - 0,774	5,4	571,43
III "	0,706	0,0227	0,650 - 0,761	3,2	564,32

P. = Persien

D. = Deutschland

3.3.2.5 Verteilung der Rohdichte innerhalb der Einzelstämme

Von Interesse sind nicht nur die durchschnittliche Rohdichte des Gesamtmaterials und der Einzelstämme sowie deren Streuungen und Häufigkeitsverteilungen, sondern es ist oft auch wichtig, zu wissen, wie sich die Rohdichtewerte auf dem Stammquerschnitt, d.h. mit dem Abstand vom Mark, und in verschiedenen Stammhöhen darstellen. Rohdichteunterschiede haben verhältnismäßige Unterschiede des Schwindmaßes und der mechanischen Eigenschaften des Holzes zur Folge und können somit seine Verwendbarkeit entscheidend beeinflussen. Nach TRENDELENBURG (1939) sind die Verschiedenheiten der Holzbeschaffenheit, die durch die Holzdichte aufgezeigt werden, für die gesonderte Verwertung der einzelnen Schaftteile maßgebend. Über die Schwankungen der Rohdichte auf dem Stammquerschnitt und mit der Höhe im Stamm liegen für andere Holzarten bereits zahlreiche Untersuchungen vor. TRENDELENBURG stellte fest, daß bei den Laubhölzern der Höchstwert der Rohdichte in der Regel in Marknähe des Baumes liegt. Auch BURGER (1949) kam bei Untersuchungen an Rotbuche zu dem Ergebnis, daß das marknahe, in der Jugend aufgebaute Holz unabhängig von der Jahrringbreite am schwersten ist und das rindennahe am leichtesten. Dagegen fand LANGENKAMP (1931), daß bei der Rotbuche die Rohdichte zunächst vom Mark aus abnimmt und zum Splint hin wieder etwas ansteigt. Außerdem stellt er fest, daß die Holzdichte auf dem Stammquerschnitt im allgemeinen unregelmäßig verteilt ist.

Bei den eigenen Untersuchungen wurden sämtliche gefundenen Raumdichtewerte über dem Querschnitt aufgetragen und zonenweise in Stufen zusammengefaßt. Die Grenzen zwischen den Zonen sind keinesfalls so deutlich wie es bei den verschiedenen Nadelbäumen fast immer der Fall ist. Sowohl die Stammscheiben aus dem deutschen Material als auch die der

persischen Hainbuchen lassen keine eindeutige Abnahme bzw. Zunahme der Raumdichtezahl zwischen dem Mark und der Rinde erkennen. Abb. 25 zeigt hierfür als Beispiel eine Scheibe aus 9 m Höhe des Stammes 5 aus Persien und eine Stammscheibe der deutschen Hainbuche I aus 5 m Höhe. Auf den beiden Querschnitten treten keine erheblichen Unterschiede auf, dagegen variieren sie beträchtlich im Dichteniveau. Wie weit überhaupt eine Tendenz zur Abstufung der Dichte auf dem Stammquerschnitt zu erkennen war, ist aus der ebenfalls dargestellten Scheibe aus 6 m Höhe des Stammes 6 aus Persien zu ersehen. Über die Stammscheibe haben sich, unregelmäßig verteilt, einzelne Zonen mit hoher bzw. geringer Holzdichte gebildet, selbst innerhalb des in der gleichen Altersperiode aufgebauten Holzes der Scheibe sind Schwankungen zu erkennen. Diese bei Laubbaumarten häufige Erscheinung ist nach MAYER-WEGELIN (1954) auf die größere phototropische Reizbarkeit der Laubhölzer zurückzuführen. Das innerste, in der Jugend erzeugte Holz, ist im allgemeinen schwerer als das Holz des äußeren Bereichs.

Ob die gefundenen Dichteunterschiede auf den Stammquerschnitten der deutschen und persischen Hainbuchen rein zufällig oder statistisch gesichert sind, wurde ebenfalls durch eine Kovarianzanalyse überprüft. Hierfür wurden sämtliche Stammscheiben in 4 cm breite Ringzonen aufgeteilt, in der Reihenfolge von der Rinde zum Mark nummeriert (Abb. 26) und diese Nummern in die entsprechenden Lochkarten der Proben eingetragen. Als Kovariate wurde auch hier die Höhe der jeweiligen Probenahme benutzt, um deren Einfluß auf die Rohdichte auszuschalten.

Sodann wurde mit Hilfe statistischer Methoden berechnet, ob sich die Rohdichte mit der Entfernung vom Mark und somit mit dem Alter ändert. Für das Material aus dem Iran ergaben sich keine gesicherten Rohdichteunterschiede zwischen mark- und rindennahem Holz, auch nicht bei Zusammen-

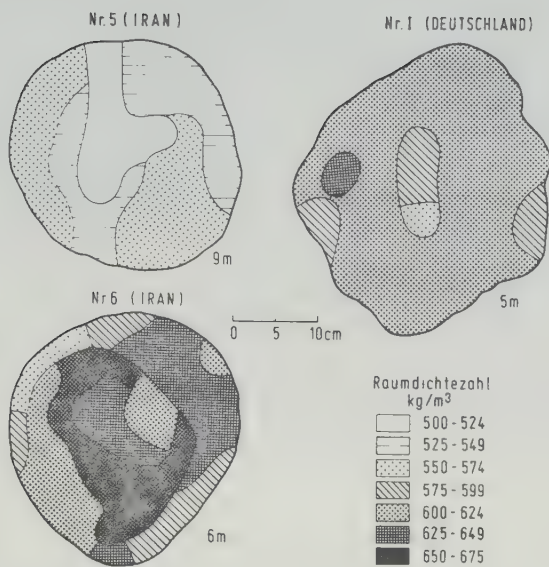


Abb. 25 Drei Beispiele für die Verteilung der Raumdichte über die Querfläche

fassung mehrerer Ringzonen. Anders verhielten sich die deutschen Stämme. Wie aus Tabelle 11 hervorgeht, wurde in den äußeren Splintzonen (Zone 1) leichteres und in der Nähe des Marks (Zone 4) schweres Holz gebildet. Die Dichteunterschiede zwischen dem Holz dieser beiden Zonen sind sogar bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % statistisch gesichert. Die Rohdichte steigt vom Mark zur Rinde zunächst etwas an und sinkt dann nach Erreichen eines Maximalwertes wieder ab. Ähnliche Dichteunterschiede auf dem Stammquerschnitt fand v. WEDEL (1964) für Bergahorn. Da bereits an Hand der Kovarianzanalyse

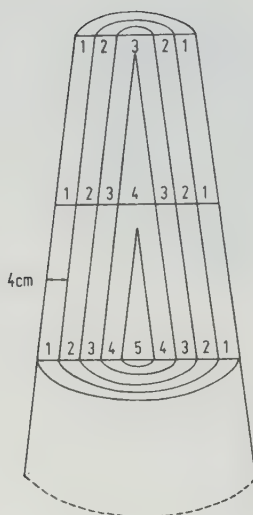


Abb. 26

Zonenweise Zusammenfassung der Proben für die Kovarianzanalyse

unter anderem ein statistisch gesicherter negativer Einfluß der Stammhöhe auf die Rohdichte festgestellt wurde, stellte sich nun die Frage, in welchem Ausmaß sich die Holzdichte mit der Höhe im Stamm verändert. Sie konnte an den 3 süddeutschen Probestämmen sowie an 3 persischen Hainbuchen untersucht werden, von denen für die einzelnen Höhenabschnitte Stammscheiben mit annähernd gleicher Probenzahl zur Verfügung standen. Das Ergebnis zeigt Abb. 27: Bei der Mehrzahl der Stämme sinkt die Rohdichte

Tabelle 11 Mathematisch-statistische Überprüfung der Rohdichteunterschiede zwischen mark- und rindennahem Holz der deutschen Hainbuchen

r_o 0,7024 g/cm ³	r_o 0,7072 g/cm ³	r_o 0,7194 g/cm ³	r_o 0,7265 g/cm ³	r_o 0,7209 g/cm ³
	-0,0048 -1 % -	-0,0170 -3 % + + +	-0,0241 -3 % + + +	-0,0185 -3 % +
		-0,0122 -2 % + +	-0,0193 -3 % + + +	-0,0137 -2 % -
			-0,0071 -1 % -	-0,0015 -0,2 % -
				+0,0056 +0,8 % -

mit steigender Höhe im Stamm deutlich ab. Bei Stamm I (Ebrach) und Stamm 9 (Persien) ist die Rohdichteabnahme nach oben so ausgeprägt, daß man im Sinne TRENDLENBURGS (1939) von einer Arteigentümlichkeit sprechen könnte. Dem steht allerdings entgegen, daß bei Stamm III (Laugna) keine derartige Tendenz ersichtlich ist. Im Ganzen gesehen ist aber bei den süddeutschen wie bei den persischen Hainbuchen das Holz der höheren Schaftteile, insbesondere das kronenbürtige Holz, überwiegend leicht-

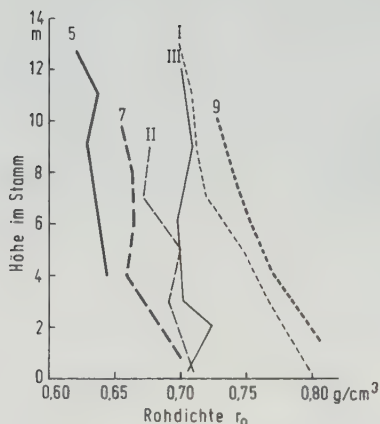


Abb. 27 Beispiele für die Veränderung der Rohdichte mit der Baumhöhe

ter als das der Erdstammstücke. Doch sind im Durchschnitt die Dichteunterschiede innerhalb der Einzelstämme in der Längsrichtung wie quer zur Stammachse nicht erheblich. Vor allem der letztere Umstand ist für die Holzverwertung und -verwendung von Vorteil.

3.3.3 Das Hygroskopische Verhalten des Hainbuchenholzes

3.3.3.1 Ergebnisse der Volumenschwindmaße und ihre Beziehung zur Rohdichte

In unmittelbarem Zusammenhang mit der Rohdichte stehen Schwindung und Quellung, kurz das Arbeiten des Holzes bei wechselnder Feuchtigkeit. Die ungleichen Dimensionsände-

rungen in den verschiedenen Richtungen der Stammachse führen nicht allein zu Volumenschwankungen sondern auch zu Formänderungen, die sich bei der Verarbeitung nachteilig auswirken. Wie bereits erwähnt, wurden die Roh- bzw. die Raumdichteproben in feuchtem und gedarrtem Zustand gemessen und gewogen und daraus die Volumina berechnet. Diese Messungen ermöglichten auch die Ermittlung der Volumenschwindmaße sowie der Werte für die Schwindung in tangentialer-, radialer- und longitudinaler Richtung. Für die Bestimmung der Volumenschwindmaße wurde die Formel:

$\beta v = 1 - (1 - \beta r) \cdot (1 - \beta t) \cdot (1 - \beta l)$ benutzt. Mittelwerte sowie Streuung und Grenzwerte der Volumenschwindmaße der deutschen und persischen Hainbuchen sind in der Tabelle 12 den aus der Literatur bekannten Werten gegenübergestellt. Außerdem sind die zugehörigen Roh- und Raumdichtewerte, sowie der Faktor Schwindmaß/Raumdichte angegeben.

Tabelle 12

Herkunft bzw. Autor	Roh- dichte ρ_0 g/cm ³	Raum- dichte R kg/fm	Volumen- schwindung βv %	Varia. Koeff. %	Grenzwerte (Volumenschw.) %	$\frac{\beta v}{R}$
PERSIEN	0,706	592	15,97±1,63	10,2	11,44 - 24,74	26,98
DEUTSCHL.	0,710	579	18,42±1,90	10,3	13,24 - 22,69	31,81
KOLLMANN	0,790	641	18,80 -	-	- -	29,33
KNUCHEL	0,760	593	17,92 -	-	15,10 - 20,60	29,85
GHELMEZIU u. ISTRATE	0,830	675	18,60 -	-	15,60 - 23,10	27,55
GIORDANO	0,761	-	23,00 -	-	21,60 - 25,20	-

Entsprechend ihrer hohen Rohdichte gehört die Hainbuche zu den stark schwindenden Hölzern. Die mittlere Volumenschwindung der persischen Hainbuchen (16 %) liegt jedoch deutlich unter dem Mittelwert der deutschen Stämme und den damit gut übereinstimmenden Angaben anderer Autoren (18 - 19 %). Die Signifikanzprüfung dieser Mittelwerte ergab stark gesicherte Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P = 0,01$. Die Grenzwerte streuen, entsprechend der größeren Variationsbreite der persischen Rohdichtewerte, etwas stärker um den Mittelwert als die der deutschen Hainbuchen oder die von anderen Autoren angegebenen Werte. (Die etwas abweichenden Ergebnisse von GIORDANO (1942) können nicht erklärt werden, da keine näheren Angaben über sein Untersuchungsmaterial vorliegen.) Dagegen stimmen die Variationskoeffizienten beider Kollektive gut überein.

Das geringe Schwindmaß der persischen Hainbuchen bestätigt die Rohdichteuntersuchungen und erklärt auch, warum sie bei einer gegenüber den deutschen Proben höheren Raumdichte in der Rohdichte ρ_0 etwas hinter den letzteren zurückbleiben. Da die Volumenschwindung jedoch nicht nur in ihrer absoluten Höhe sondern stets im Zusammenhang mit der Rohdichte gesehen werden muß, ist der Quotient Volumenschwindung von besonderer Bedeutung. Im Verhältnis Raumdichte zu ihrer Rohdichte sind die Volumenschwindmaße der persischen Hainbuche günstig zu beurteilen, der Quotient $\frac{\Delta v}{R}$ beträgt nur 27 gegenüber 31,8 bei den deutschen Stämmen. Er liegt auch deutlich unter dem von GRÖSSLER (1943) für weiß- und rotkernige Buche angegebenen Wert von 31 und entspricht etwa den von GÜRSÜ und BERNHART (1963) oder GÖHRE und WAGENKNECHT (1955) für Traubeneiche (26) und Roteiche (29,4) bzw. den von v.WEDEL für Spitzahorn (27,3) ermittelten Werten. Auch die von SCHWENKE (1956) und v.WEDEL (1964) für Esche (25) und Bergahorn (24,6) angegebenen Quotienten liegen nur wenig darunter. TRENDLENBURG (1939) hat die

wichtigsten einheimischen und fremdländischen Baumarten auf Grund ihrer Fasersättigungsfeuchtigkeit, ihrer Schwindmaße und ihrer Raumdichte und unter Berücksichtigung ihrer Verkernung in Gruppen eingeteilt, die in ihrer Struktur und Verkernung eine weitgehende Übereinstimmung zeigen.

Danach gehört die Hainbuche als zerstreutporiges Laubholz ohne ausgeprägten Kern zur Gruppe mit hohen Schwindmaßen ($\beta_v = (31 - 34) \cdot R$ bzw. $\frac{\beta_v}{R} = 31 - 34$.)

In dieser Einteilung nehmen die persischen Hainbuchen, deren Quotient $\frac{\beta_v}{R}$ nur 27 beträgt, jedoch eine ähnliche Mittelstellung zwischen zerstreut- und ringporigen Hölzern ein wie etwa Ahorn und Ulme.

In der Tabelle 13 sind die Ergebnisse der Regressionsrechnung für die Beziehungen Raumschwindmaß / Rohdichte wiedergegeben. Zur Überprüfung der Zusammenhänge zwischen den beiden Größen wurden außer den linearen und quadratischen Ausgleichsfunktionen auch die einfache und die doppelte logarithmische Funktion benutzt. Während für die persische Hainbuche alle Funktionen mit beinahe gleichem Ergebnis den statistischen Anforderungen genügten, ließen sich für die deutsche Hainbuche zwar auch bei allen Funktionen gesicherte Beziehungen herleiten, doch genügte nur der quadratische Ausgleich annähernd den statistischen Anforderungen. Die F-Werte sind in allen Fällen hochsignifikant, das bestätigt den engen Zusammenhang zwischen den beiden Größen. Bei den persischen Hainbuchen lassen sich 61 % der Beobachtungswerte durch die lineare, bei den deutschen nur 48 % durch die quadratische Ausgleichsfunktion erklären. Diese Zahlen entsprechen in etwa wiederum den von v. WEDEL (1964) für Berg- und Spitzahorn angegebenen Werten. GÜRSU und BERNHART (1963) erhielten auch für die ringporige Traubeneiche ähnliche Ergebnisse und BERNHART (1963) fand für Fichten aus dem Bayerischen Wald ebenfalls annähernd die gleichen Verhältniszahlen

Tabelle 13 Regressionsanalyse der Beziehung Raumschwindmaß / Rohdichte

Persische Hainbuche linearer Ausgleich	Deutsche Hainbuche quadrat. Ausgleich
N = 675	N = 399
Kritischer F-Wert = 3,84 ($\alpha = 5\%$)	Kritischer F-Wert = 3,84 ($\alpha = 5\%$)
Konstante a = 3,41	Konstante a = 118
$x_1 = 17,80$ F = 1077	$x_1 = 352$ F = 58,32
	$x_1^2 = 224$ F = 48,59
F-Wert der Regression = 1077	F-Wert der Regression = 183
r = 0,784	r = 0,693
B (%) = 61,5	B (%) = 48,09

für die Beziehung Volumenschwindmaß / Rohdichte.

Auf Grund der größeren stammweisen Rohdichteunterschiede waren auch erhebliche Differenzen im hygroskopischen Verhalten der Einzelstämme zu erwarten. Die in Tabelle 14 stamm- und gebietsweise wiedergegebenen Werte sowie die in Abbildung 28 den mittleren Raumdichten der Stämme zugeordneten Mittelwerte der Volumenschwindung bestätigen diese Vermutung. Ganz allgemein schwinden die deutschen Hainbuchen stärker als die persischen, nur wenige Stämme aus den feuchten Gebieten weisen ähnlich hohe Mittelwerte wie die deutschen Stämme auf. Innerhalb der persischen Wuchsgebiete entsprechen der statistisch gesicherten höheren Rohdichte der Hainbuchen aus den feuchteren Gebieten im N und NW statistisch gesicherte höhere Schwindmaße, während der Unterschied zwischen diesen beiden Ge-

Tabelle 14

Stamm Nr.	β_v %	S %	Varia. Koeff. %	Darr- dichte r_0 g/cm ³	Raum- dichte R kg/m ³	$\frac{\beta_v}{R}$	r
3	15,99	$\pm 1,34$	8,38	0,701	589	27,14	0,761
4	15,55	$\pm 1,69$	10,87	0,683	577	26,94	0,851
5	14,17	$\pm 1,05$	7,41	0,632	543	26,09	0,632
6	16,48	$\pm 1,97$	11,95	0,749	625	26,36	0,915
7	17,78	$\pm 0,89$	5,64	0,657	553	28,53	0,682
8	14,31	$\pm 1,18$	8,24	0,578	495	28,90	0,874
9	16,40	$\pm 1,06$	6,46	0,745	623	26,32	0,690
NO	15,53	$\pm 1,55$	9,98	0,681	575	27,00	0,753
11	17,15	$\pm 1,38$	8,05	0,717	594	28,87	0,466
13	17,58	$\pm 0,79$	4,49	0,834	688	25,55	0,706
15	15,72	$\pm 1,30$	8,27	0,692	583	26,96	0,787
16	15,36	$\pm 0,78$	5,08	0,686	581	26,44	0,635
NW	16,66	$\pm 1,40$	8,40	0,752	625	26,61	0,841
1	15,51	$\pm 1,00$	6,44	0,700	591	26,24	0,638
17	18,15	$\pm 0,94$	5,18	0,799	654	27,75	0,542
18	15,74	$\pm 0,98$	6,23	0,687	579	27,18	0,438
N	16,76	$\pm 1,58$	9,42	0,740	615	27,27	0,695
I	18,78	$\pm 1,31$	6,97	0,733	595	31,56	0,596
II	17,23	$\pm 1,92$	11,14	0,691	571	30,17	0,832
III	20,14	$\pm 0,91$	4,5	0,707	564	35,71	0,351

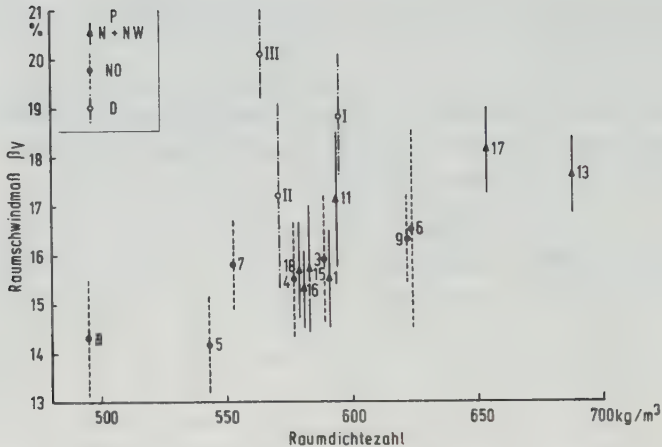


Abb. 28 Mittelwerte und Streuung des Raumschwindmaßes der Einzelstämme

bieten sehr gering und nicht gesichert ist. Überraschend groß ist das Schwindmaß der deutschen Hainbuchen III (20,14 %), das annähernd 20 % höher liegt als bei den anderen Stämmen gleicher Rohdichte. Aus Abb. 28 geht hervor, daß keineswegs immer die dichtesten Stämme auch am meisten oder die leichtesten am wenigsten schwinden. Die Streuung bzw. die Variationskoeffizienten der Schwindmaße verschiedener Einzelstämme differieren ebenfalls erheblich, hierbei verhalten sich die deutschen und die persischen Stämme sehr ähnlich. Der Quotient aus Raumschwindmaß und Raumdichte bewegt sich bei den persischen Stämmen in sehr engen Grenzen um den Mittelwert von rund 27, während die untersuchten deutschen Stämme im Verhältnis zu ihrer Dichte überdurchschnittlich hohe Volumenschwindmaße aufweisen, wobei diese Verhältniszahlen auch stärker vom Mittelwert von 32,5 abweichen. Die unterschiedliche Be-

ziehung zwischen Rohdichte und Volumenschwindmaß der beiden Kollektive kommt auch in den Regressionsrechnungen zum Ausdruck, zum Beispiel in den unterschiedlichen Bestimmtheitsmaßen beider Herkünfte bzw. in den stark variierenden Korrelationskoeffizienten der Einzelstämme.

Für die Holzverarbeitung ist nicht nur das unterschiedliche Schwindverhalten der Einzelstämme von Interesse, sondern auch etwa auftretende Schwankungen innerhalb des Stammes. Daher wurden für die drei deutschen und drei persischen Stämme mit annähernd gleicher Probenzahl auch die Beziehungen zwischen Volumenschwindmaß und Stammhöhe korrelationsstatistisch berechnet.

Abb. 29, in der die Mittelwerte der Raumschwindmaße in verschiedenen Baumhöhen sowie ihre mittleren quadratischen Abweichungen für die drei deutschen und persischen Hainbuchen dargestellt sind, zeigt einen verhältnismäßig gleichmäßigen Verlauf der Volumenschwindmaße in den verschiedenen Stammhöhen. Sie verringern sich mit zunehmender Höhe nur geringfügig. In allen Höhenabschnitten sind wiederum sowohl die absoluten Volumenschwindmaße als auch die Streuungen bei den deutschen Stämmen größer als bei den persischen. Auch die Abnahme der Werte mit der Höhe ist bei den persischen Stämmen deutlicher als bei den deutschen ausgeprägt. Das hängt sicher hauptsächlich damit zusammen, daß der Stamm III aus Laugna auch keine Veränderung bei der Rohdichte mit der Höhe zeigte.

3.3.3.2 Schwindungsanisotropie

Besonders unangenehm für die Holzverarbeitung ist die Schwindungsanisotropie, das ist die Eigenart des Holzes, in Richtung der drei anatomischen Hauptachsen (längs, tangential und radial) verschieden stark zu schwinden. Wie die Buche zeichnet sich auch die Hainbuche durch eine

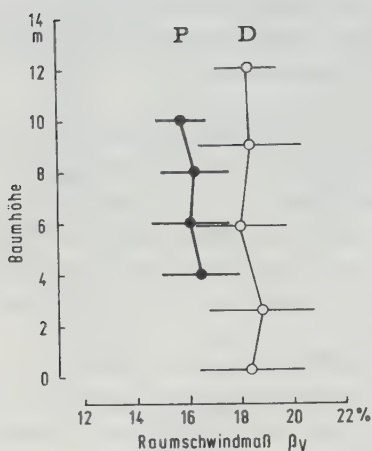


Abb. 29

Mittelwerte und Streuung der Raumschwindmaße in verschiedenen Baumhöhen von je drei persischen und deutschen Hainbuchen

hohe Tangentialschwindung aus und schwindet auch in der Radialrichtung überdurchschnittlich stark (KNIGGE und SCHULZ 1966). In Tabelle 15 sind die longitudinalen, tangentialen und radialen Schwindungsmaße der persischen und der deutschen Hainbuchen sowie das Verhältnis der tangentialen zur radialen Schwindung wiedergegeben und entsprechenden Literaturangaben gegenübergestellt. Der geringeren Volumenschwindung der persischen Proben entsprechen kleinere Schwindmaße in den verschiedenen Wachstumsebenen. Sie liegen alle unter den von anderen Autoren ermittelten Werten, lediglich GHELMEZIU u. ISTRATE (1960) fanden für ihr Untersuchungsmaterial eine noch geringere Längsschwindung. Insbesondere aber beruhen die geringen Volumenschwindmaße der Hainbuche aus

Tabelle 15

Herkunft Autor	Roh- dichte ρ_o g/cm ³	Raum- dichte R kg/fm	β_l %	β_t %	β_r %	$\frac{\beta_t}{\beta_r}$
Persien	0,706	592	0,33	9,95	6,39	1,55
Deutschl.	0,710	579	0,44	12,31	6,57	1,87
KOLLMANN	0,790	641	0,50	11,50	6,80	1,69
KNUCHEL	0,760	593	0,39	11,80	6,50	1,81
GHELMETZIU u. ISTRATE	0,830	675	0,10	12,30	7,10	1,73
GIORDANO	0,695	535	0,50	14,30	8,20	1,75

dem Iran in erster Linie auf einer ungewöhnlich niedrigen Tangentialschwindung, wohingegen die stärkere Schwindung der deutschen Stämme durch eine relativ hohe Tangentialschwindung zustande kommt, wenn diese auch nicht die von GIORDANO (1942) gefundenen Werte erreicht. Abgesehen von der geringen Tangentialschwindung der persischen Hainbuchen liegen alle hier ermittelten Schwindmaße im Rahmen der übrigen Literaturangaben. Das Verhältnis der Tangential- zur Radialschwindung, das ganz allgemein etwa dem Wert 2 entspricht und sich nach KOLLMANN (1951) bei schwereren und stärker schwindenden Hölzern bzw. auch innerhalb der gleichen Holzart mit zunehmender Rohdichte verringert, erreicht bei den persischen Hainbuchen nur den Wert 1,55, bei den deutschen dagegen 1,87. Der erstere liegt also unter den anderen Literaturangaben, der letztere hingegen darüber und fällt etwa mit dem entsprechenden Quotienten für Spitz- und Bergahorn (v. WEDEL 1964) zusammen.

3.3.4 Die mechanischen Eigenschaften des Hainbuchenholzes

Da für die meisten Verwendungszwecke eines Holzes sein mechanisch-technologisches Verhalten entscheidend ist, kommt der Überprüfung der verschiedenen Festigkeitseigenschaften einer Holzart für die Beurteilung ihrer Verwertungsmöglichkeiten große praktische Bedeutung zu. Daher wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit, wie bereits eingangs erwähnt, auch umfangreiche Festigkeitsprüfungen am Hainbuchenholz vorgenommen.

3.3.4.1 Druckfestigkeit in Faserrichtung

Für die Ermittlung der Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung werden nur relativ kleine Probekörper benötigt. Es war daher möglich, aus den Probestammabschnitten eine größere Anzahl von Proben auszuformen und diese Eigenschaft eingehend zu prüfen. Die Prüfung der Druckfestigkeit erschien auch deshalb wesentlich, weil nach den Angaben von KOLLMANN (1951) die Hainbuche hierin alle anderen mitteleuropäischen Holzarten übertrifft. Lediglich tropische Hölzer, wie etwa Bongossi oder Pockholz, erreichen wesentlich höhere Werte. Außerdem bestehen zwischen der Druckfestigkeit und anderen statischen Festigkeitseigenschaften gewisse Zusammenhänge, die annähernde Rückschlüsse auf die Gesamtfestigkeit erlauben.

In Tabelle 16 sind die arithmetischen Mittelwerte, Streuungen, Grenzwerte und Variationskoeffizienten der Druckfestigkeit sowie die Rohdichtemittelwerte und die statischen Gütezahlen für die persischen und deutschen Hainbuchen wiedergegeben und einigen Literaturangaben gegenübergestellt. Wie der Vergleich von Druckfestigkeitswerten verschiedener Autoren zeigt, treten beträchtliche Unterschiede zwischen den einzelnen Kollektiven auf.

Die persischen Stämme mit ihren hohen Rohdichten erreichen auch sehr hohe Druckfestigkeiten. Ihr Mittelwert beträgt

Tabelle 16

Herkunft Autor	Roh- dichte ρ_{12} g/cm ³	Druck- festigkeit σ_{dB12} kp/cm ²	Streuung kp/cm ²	Grenz- werte kp/cm ²	Varia. koeff. %	Statische Gütezahl
Persien	0,80	767	± 101	445-997	13,2	9,54
Deutschl.	0,76	639	± 65	449-791	10,2	8,39
KOLLMANN (1951)	0,81	820	-	550-990	-	10,38
FRANK (1954)	0,81	776	-	517-941	-	9,82
VORREITER (1949)	0,81	-	-	- -	-	9,82
GHELMESIU u. ISTRATE (1960)	0,85	647	-	505-788	-	7,79
GIORDANO (1942)	0,79	480	-	325-600	-	6,23

* Die Druckfestigkeitswerte der verschiedenen Autoren wurden nach der Formel $\sigma_{dB12} = \sigma_{dov} \times \frac{20}{32-u}$ (KOLLMANN, 1951) auf eine einheitliche Holzfeuchtigkeit von 12 % umgerechnet.

767 kp/cm², entspricht damit also etwa den besseren Werten aus der Literatur und liegt nur geringfügig unter dem Durchschnittswert von KOLLMANN (820 kp/cm²), der nach übereinstimmenden Aussagen anderer Autoren als ungewöhnlich hoch anzusehen ist (GHELMEZIU und ISTRATE 1960, FRANK 1954, GIORDANO 1942, VORREITER 1949).

Die von den deutschen Hainbuchen stammenden Proben sind weniger druckfest, ihr Mittelwert von 639 kp/cm² entspricht aber in etwa dem von GHELMEZIU und ISTRATE (1960) für rumänische Probestämme gefundenen Wert von 647 kp/cm² und liegt noch deutlich über dem Mittelwert des italienischen Untersuchungsmaterials, über dessen Umfang und Herkunft GIORDANO keine näheren Angaben macht. Der Unterschied der Druckfestigkeitsmittelwerte der persischen und der deutschen Stämme ließ sich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % statistisch sichern.

Die Häufigkeitskurven der Druckfestigkeit (Abb. 30) zeigen bei den persischen Hainbuchen eine größere Variationsbreite als bei den deutschen Stämmen, was auch durch unterschiedliche Werte der Streuung (± 101 kp/cm² für die persischen- und ± 65 kp/cm² für die deutschen Hainbuchen), bzw. der Variationskoeffizienten (13,2 bzw. 10,2 %) zum Ausdruck kommt. Bemerkenswert ist außerdem, daß bei den persischen Hainbuchen annähernd 40 % der Proben eine Druckfestigkeit von mehr als 800 kp/cm² aufweisen, während bei den deutschen Stämmen Werte über 800 kp/cm² überhaupt nicht gefunden wurden. Auch im Verhältnis zu ihrer Rohdichte sind die persischen Hainbuchen druckfester als die deutschen Stämme, wie der Vergleich der statischen Gütezahlen, in Tabelle 16 erkennen läßt. Bei gleicher Rohdichte liegt die Druckfestigkeit der persischen Proben beinahe um 12 % höher als die der deutschen. Auch diese Unterschiede lassen sich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % statistisch sichern. Über die Beziehungen zwischen der Druckfestigkeit und der Rohdichte der per-

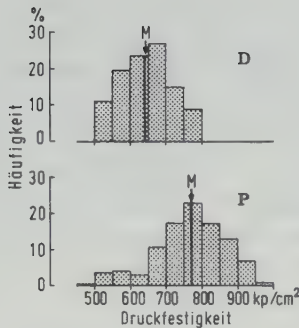


Abb. 30

Häufigkeitsverteilung
der Druckfestigkeit
der deutschen und per-
sischen Stämme

sischen und der deutschen Hainbuchen geben auch die in Tabelle 17 aufgeführten Ergebnisse einer Regressionsanalyse Aufschluß. Für das persische Material können diese Beziehungen mit Hilfe der quadratischen Funktion bestätigt werden. Für die deutschen Hainbuchen lassen sich zwar beim linearen und quadratischen Ausgleich ebenfalls gesicherte Beziehungen herleiten, doch sind damit nur etwa 44 % der Gesamtstreuung zu erklären. Die hohen F-Werte weisen auf einen Zusammenhang zwischen den beiden untersuchten Größen hin und zeigen, daß die Druckfestigkeit überwiegend nicht zufällig streut. Das Bestimmtheitsmaß für die Beziehung Druckfestigkeit/Rohdichte beträgt bei den persischen Hainbuchen 81 % und erreicht damit beinahe die doppelte Höhe des entsprechenden Werts der deutschen Stämme. Ähnlich wie für das persische Gesamtmaterial stellen sich auch die Beziehungen zwischen den beiden Größen für die Stämme aus den verschiedenen Wuchsgebieten des Iran dar (Tabelle 17). Durch die quadratische Ausgleichsfunktion lassen sich etwa 89 % der Beobachtungswerte aus dem nordöstlichen und über 70 % der Druckfestigkeitswerte aus dem nördlichen und nordwestlichen Teil der

Tabelle 17 Regressionsanalyse der Beziehung
Druckfestigkeit - Rohdichte

Untersuchungs- gebiet	Anzahl der Proben	kriti- scher F-Wert P= 5 %	Koeffizienten der quadrat. Funktionen	F-Wert der Regres- sion	r	B (%)
NO	271	3,84	Konstante $a = -1026$ $x_1 = 3046$ F= 17,31 $x_2 = -1000$ F= 4,28	1079	0,943	88,9
N	77	3,92	Konstante $a = 468$ $x_1 = 522$ F= 186	186	0,844	71,3
NW	238	3,84	Konstante $a = 270$ $x_1 = 747$ F= 717	717	0,867	75,2
Gesamt- material Persien	586	3,84	Konstante $a = -1201$ $x_1 = 3645$ F= 58,6 $x_2 = -1478$ F= 24,3	1272	0,902	81,3
Gesamt- material Deutsch- land	368	3,84	Konstante $a = -1870$ $x_1 = 5645$ F= 12,32 $x_2 = 3075$ F= 8,5	145	0,666	44,3

kaspischen Wälder erklären. Die in Abb. 31 dargestellten Regressionslinien für die einzelnen Wuchsgebiete und für das Gesamtmaterial aus Persien stimmen sowohl in der Steigung als auch im Niveau gut miteinander überein. Eine Ausnahme macht lediglich die Beziehungslinie der Proben aus dem nördlichen Teil der kaspischen Wälder, die im unteren Bereich etwas höher als die der übrigen Proben liegt. Das kann jedoch nicht überraschen, wenn man die statischen Gütezahlen vergleicht: im nördlichen Wuchsgebiet beträgt ihr Mittelwert 10,03 km und übertrifft damit deutlich die der anderen Gebiete.

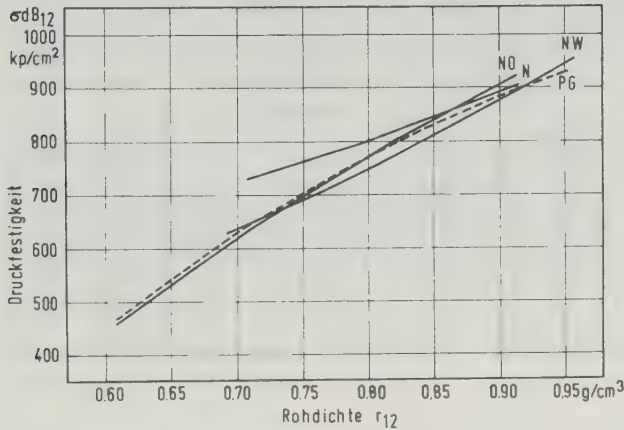
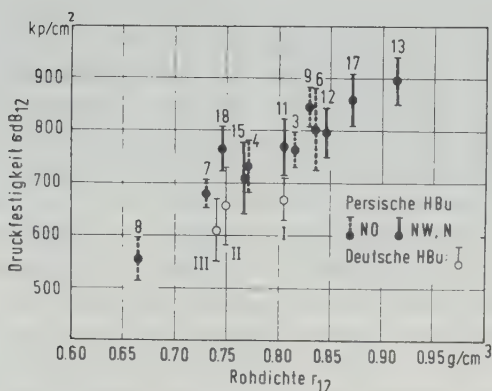


Abb. 31 Durch Regressionslinien dargestellte Beziehung zwischen Druckfestigkeit und Rohdichte für die einzelnen Untersuchungsgebiete und das Gesamtmaterial des Iran

Tabelle 18

Stamm Nr.	Roh- dichte ρ_{12} g/cm ³	Druck- festigkeit σ dB ₂ kp/cm ²	Streuung kp/cm ²	Var. Koeff. %	Grenzwerte kp/cm ²	Stati- sche Gütezahl km
3	0,814	762,76	$\pm 32,95$	4,3	502 - 820	9,37
4	0,771	731,88	$\pm 47,67$	6,5	522 - 813	9,49
6	0,834	802,89	$\pm 79,48$	9,9	582 - 935	9,61
7	0,730	680,46	$\pm 27,32$	4,0	633 - 829	9,31
8	0,665	554,39	$\pm 40,11$	7,2	445 - 738	8,33
9	0,830	846,81	$\pm 36,70$	4,3	759 - 925	10,20
11	0,805	770,92	$\pm 54,39$	7,0	554 - 869	9,56
12	0,846	797,13	$\pm 47,60$	5,9	704 - 913	9,41
13	0,913	897,23	$\pm 45,85$	5,1	566 - 962	9,83
15	0,767	708,41	$\pm 68,77$	9,7	550 - 823	9,23
17	0,871	859,84	$\pm 50,67$	5,9	762 - 937	9,86
18	0,744	765,94	$\pm 43,95$	5,7	716 - 848	10,28
I	0,805	669,02	$\pm 40,52$	6,0	512 - 751	8,32
II	0,739	608,63	$\pm 60,46$	9,9	503 - 727	8,23
III	0,748	655,75	$\pm 74,31$	11,3	499 - 791	8,75

Ähnlich wie die mittleren Rohdichten unterliegen auch die Druckfestigkeitsmittelwerte der Einzelstämme erheblichen Schwankungen. Dies verdeutlicht sowohl die Tabelle 18 als auch die Abb. 32, in der die mittleren Druckfestigkeiten und ihre Streuungen über den entsprechenden mittleren Rohdichtewerten der Einzelstämme aufgezeichnet wurden. Daraus ist einerseits wieder eindeutig der Einfluß der Rohdichte auf die Druckfestigkeit zu erkennen, zum anderen kommt das höhere Festigkeitsniveau der persischen Stämme gegenüber



von 4,3 %. Die Variationskoeffizienten der Einzelstämme weichen von diesem Durchschnittswert stark ab, ein typischer Unterschied zwischen den einzelnen Wuchsgebieten läßt sich aber nicht erkennen. Bei den deutschen Einzelstämmen streuen die Druckfestigkeiten besonders stark, die Variationskoeffizienten der drei untersuchten deutschen Stämme schwanken zwischen 6,0 und 11,3 %. Auch die Grenzwerte der deutschen Einzelstämme weichen etwas stärker vom Mittelwert ab als die der persischen Hainbuchen. Daß auch ihre statischen Gütezahlen fast durchwegs von denen der persischen Stämme übertroffen werden, ging schon aus Abb. 32 hervor. Da aber ihre Mittelwerte noch durchwegs über 8 km liegen, entsprechen sie ebenso wie die der persischen den Anforderungen, die MONNIN (1932), der die harten Laubhölzer nach diesem Kriterium in drei Gruppen einteilt, für die Gruppe der Holzarten mit den besten Gütezahlen zugrundelegt. (8 - 9 km)

Um eine Vorstellung von der Festigkeitsänderung mit der Höhe im Stamm zu gewinnen, wurden bei den drei deutschen Hainbuchen Probekörper aus den verschiedenen Stammhöhen in die Untersuchungen einbezogen. Abb. 33, in der die Mittelwerte der Druckfestigkeit und der statischen Gütezahl für die verschiedenen Stammhöhen des Stammes Nr. I dargestellt sind, zeigt zunächst eine Zunahme der Druckfestigkeit bis zu einer Höhe von 3 m und im anschließenden Stammabschnitt dann wieder eine erst langsame und im Kronenbereich ab 11 m Höhe stärkere Abnahme. Bei der statischen Gütezahl ist im unteren und oberen Stammteil die gleiche Tendenz zu beobachten, zwischen 3 und 11 m Höhe aber weist die Gütezahl auf der gesamten Länge den gleichen Wert auf. Bei den übrigen deutschen Probestämmen wurde ein solcher Einfluß der Entnahmehöhe auf die Druckfestigkeit und die statische Gütezahl nicht festgestellt. Im großen und ganzen läßt sich, ähnlich wie bei der Verteilung der Rohdichte in der Stammlängsrichtung,

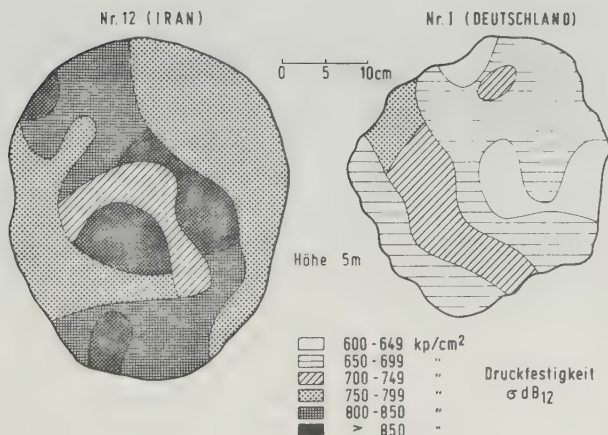
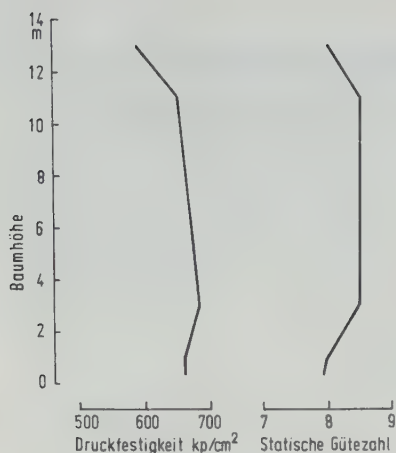


Abb. 34 Verteilung der Druckfestigkeit über dem Stammquerschnitt einer persischen und einer deutschen Hainbuche

sagen, daß sowohl die Festigkeitsunterschiede als auch die Unterschiede der statischen Gütezahlen in verschiedenen Stammhöhen bei der Hainbuche verhältnismäßig gering sind.

Schließlich ist auch die Verteilung der Druckfestigkeit und der statischen Gütezahl auf den Stammquerschnitt d.h. zwischen Mark und Rinde von Interesse. Abb. 34 zeigt als Beispiel dafür eine Scheibe aus 5 m Höhe des Stammes Nr. I aus Deutschland und eine Scheibe aus der gleichen Höhe des Stammes Nr. 12 aus Persien. Wie auf Grund der Verteilung der Rohdichte zu erwarten war, sind keine nennenswerten zonenweisen Unterschiede der Druckfestigkeit auf dem Stammquerschnitt festzustellen. Bei allen untersuchten Scheiben aus persischen und deutschen Hainbuchen kommen sowohl in den splintnahen als auch in den marknahen Bereichen geringere und höhere Druckfestigkeiten in regelloser Anordnung vor. Die zusätzlich an einigen Stämmen untersuchte Verteilung der statischen Gütezahl über dem Stammquerschnitt ließ ebenfalls keine einheitliche Tendenz erkennen. Eine gesetzmäßige Variation der Druckfestigkeit bzw. der statischen Gütezahl innerhalb des Stammquerschnittes, wie sie bei Nadelbäumen vielfach im Zusammenhang mit der Wachstumsgeschwindigkeit bzw. der Entfernung des Holzes vom Mark zu beobachten ist, konnte bei der Hainbuche nicht festgestellt werden.

3.3.4.2 Druckwiderstand quer zur Faserrichtung

Der Druckwiderstand bzw. die Formänderung des Holzes bei Beanspruchung quer zur Faser spielt in der Technik eine wichtige Rolle. Nicht allein bei der Bemessung von Holztragwerkteilen wie in Gerüsten und Fachwerken, sondern auch bei Eisenbahnschwellen, im Brückenbau und bei vielen anderen Holzkonstruktionen ist die Kenntnis der Druckfestigkeit quer zur Faser von Bedeutung; doch liegen darüber relativ wenig Erfahrungen vor. Die wenigen vorhandenen Arbeiten über den Druckwiderstand quer zur Faserrichtung unterscheiden sich häufig in methodischer Hinsicht. Diese Verschiedenheiten erschweren die zusammenfassende Betrachtung früherer und die Einordnung eigener Ergebnisse in das Gesamtbild einer Holzart. Während sich in den bedeutendsten systematischen Untersuchungen über Bau- und Werkhölzer aus der Schweiz von E.STAUDACHER (1942) und in einer umfassenden Untersuchung, die unter Leitung von KÜHNE (1955) erarbeitet wurde, unter anderem sehr eingehende Versuche über den Druckwiderstand und die Bestimmung der Kriechgrenze sowie der Erschöpfung in Abhängigkeit vom Wassergehalt finden, ermittelte KOLLMANN (1960) bei seinen Untersuchungen an Fichte und verschiedenen Laubhölzern die Belastungs-, die Verformungs- und die Entlastungs-Verformungskurve. Dabei erwähnt er die strukturbedingte hohe Elastizität und Plastizität der zerstreutporigen Laubhölzer und weist darauf hin, daß sich zur Veredelung durch Anwendung hoher Drucke senkrecht zur Faser wie etwa bei der Herstellung von Preßvollholz lediglich zerstreutporige nicht aber ringporige Laubhölzer und ebensowenig Nadelhölzer eignen. Für die eigenen Untersuchungen wurden, wie schon erwähnt, aus den Stammabschnitten der deutschen und persischen Hainbuchen gemäß DIN 52185 Druckproben mit einer Seitenlänge von 30 mm ausgeformt. Zum Vergleich wurden auch

Untersuchungen an Rotbuche vorgenommen. Das hierfür benötigte Material stellte mir freundlicherweise das Institut für Holzforschung in München zur Verfügung. Die Untersuchungen wurden ebenfalls in diesem Institut an einer Universalprüfmaschine INSTRON (Typ: TT-CM-L) durchgeführt. Dabei wurde durch Würfeldruckversuch bzw. volle Querdrukbeanspruchung auf dem ganzen Querschnitt des Körpers die Zusammendrückung in Abhängigkeit von der Belastung bestimmt, wobei die Hälfte der Proben mit stehenden und die andere Hälfte mit liegenden Jahrringen quer gedrückt wurden. Da durch die Druckbeanspruchung quer zur Faser in der Regel keine Höchstspannung auftritt, sondern, wie E.SUENSON (1937-38) beschrieben hat, der Druck gewöhnlich gesteigert werden kann, ohne daß auf der Arbeitskurve Bruchpunkte oder Höchstpunkte beobachtet werden können, ist nach KOLLMANN (1960) beim Querdrukversuch nicht die zulässige Spannung, sondern die zulässige Formänderung entscheidend, der eine Spannung zugeordnet ist. Bei den hier durchgeführten Untersuchungen wurde sowohl die im Schrifttum fast ausschließlich angegebene "Quetschgrenze", d.h. "die Widerstandsfähigkeit großlumiger und lockerer Zellverbände im Jahrring, in denen bei Druckbelastung starke Kriech- und Gleitvorgänge einsetzen, ehe die weitleumigeren Zellen schließlich kollabieren", (KNIGGE und SCHULZ 1966), als auch die nach der DIN-Norm geforderte 1 % - Stauchgrenze (d.i. diejenige Druckbeanspruchung, die einer Gesamtstauchung von 1 % zugeordnet ist = δ_{d_1}) errechnet.

Die Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 19 und Abb.35 zusammengestellt. Abb. 35 zeigt, daß der Kraftrichtung erhebliche Bedeutung zukommt: bei radialer Beanspruchung wurden erheblich höhere Werte erreicht als bei tangentialer. Das entspricht den Angaben von GABER (1940) und VORREITER (1949), wonach die Laubhölzer ihre höchste Quetschgrenze beim Druck auf die radialen, die Nadelhölzer hin-

gegen beim Druck auf die tangentialen Jahrringe aufweisen. Die mittleren Quetschgrenzen der tangential beanspruchten persischen und deutschen Hainbuchen liegen bei 115 bzw. 97 kp/cm² und bei radial zum Faserverlauf gerichteter Druckspannung bei 178 und 165 kp/cm². Sie übertreffen die in der Literatur von KOLLMANN (1951) (80- und 120 kp/cm²) bzw. von GABER (1940) (79- und 121 kp/cm²) angegebenen Werte zum Teil erheblich. Sowohl die durchschnittliche Quetschgrenze als auch die 1 % - Stauchgrenze, sowie die statische Gütezahl des Gesamtmaterials aus Persien sind bedeutend höher als die des deutschen Materials. Innerhalb der verschiedenen persischen Wuchsgebiete sind, abgesehen von etwas höheren Festigkeitswerten der Proben aus dem trockenen NO Gebiet, keine nennenswerten Unterschiede aufgetreten. Die bei 73 bzw. 127 kp/cm² liegenden Quetschgrenzen der Rotbuche sind deutlich niedriger als die entsprechenden Werte der deutschen und persischen Hainbuchen, übersteigen aber ebenfalls den Wert, den KOLLMANN für radial beanspruchte Rotbuchenproben angibt (90 - 100 kp/cm²). Dagegen stimmen die von GABER (1940) für Buchenholz ermittelten Zahlen für die tangentiale (93 kp/cm²) und die radiale (138 kp/cm²) Quetschgrenze mit dem eigenen Ergebnis fast überein. Die Häufigkeitskurven in Abb. 35 zeigen ferner, daß die Variationsbreite des Druckwiderstandes der tangential belasteten Proben aus den persischen Hainbuchen 45 kp/cm² beträgt und damit wesentlich über der der deutschen Hainbuchen, sowie auch der der radial gedrückten persischen Proben liegt. Bedeutend schmaler und höher sind die beiden Kurven der hier untersuchten Rotbuchen mit einer Variationsbreite von 35 kp/cm². Das machen auch die in der Tabelle 19 aufgeführten sehr unterschiedlichen Streuungen bzw. die Variationskoeffizienten deutlich. Möglicherweise sind für die Unterschiede zwischen eigenen Untersuchungsergebnissen und den Literaturangaben einerseits die unterschiedlichen,

Tabelle 19

	H a i n b u c h e				R o t b u c h e			
		Persien	Deutschl.	KOLLMANN	GABER	SAGEB	KOLLMANN	GABER
Rohdichte γ_{12} g/cm ³		0,80	0,75	-	-	0,62	-	-
Quetschgrenze kp/cm ²	tang. rad.	115 178	97 165	80 120	79 121	73 127	- 90-100	93 138
1% Stauchgrenze d_1 kp/cm ² $u=12\%$	tang. rad.	48,54 67,56	42,65 62,98	- -	- -	30,63 51,99	- -	- -
Streuung kp/cm ²	tang. rad.	11,88 6,24	6,17 7,97	- -	- -	3,83 5,23	- -	- -
Variations- Koeffizient %	tang. rad.	24,5 9,2	14,5 12,6	- -	- -	12,5 10,1	- -	- -
Statische Gütezahl km	tang. rad.	0,60 0,84	0,58 0,84	- -	- -	0,50 0,84	- -	- -
E - Modul kp/cm ²	tang. rad.	4806 6797	4361 6375	- -	- -	3227 5298	- -	- -
Korrelations- Koeffizient d_1/r_{12}	tang. rad.	0,32 0,39	0,21 0,10	- -	- -	0,42 0,12	- -	- -

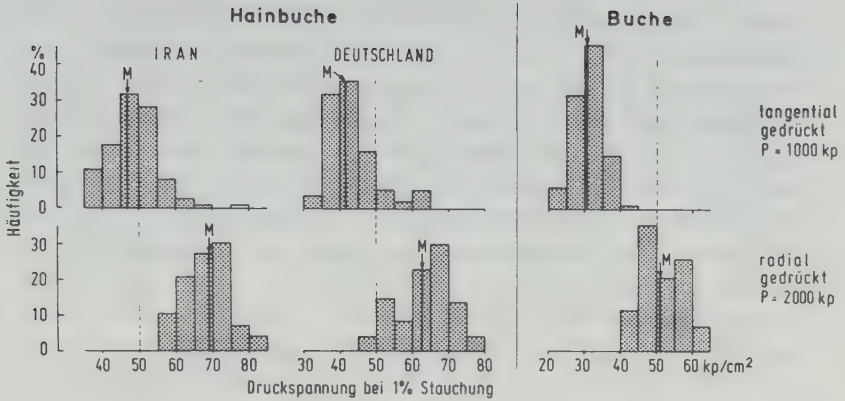


Abb. 35 Häufigkeitsverteilung der Druckspannung bei der 1 % - Stauchung von Hainbuchen- und Buchenholz bei tangentialer und radialer Druckbeanspruchung

meist nur geringen Probezahlen und andererseits die unterschiedlichen Probengrößen mitverantwortlich. R.BAUMANN (1922) hat die Frage untersucht, in welchem Ausmaß sich der Druckwiderstand bei einer Beanspruchung quer zur Faser durch unterschiedliche Probendimensionen verändert. Er stellte einen Abfall des Druckwiderstandes mit zunehmender Probenlänge fest, welche sich bei stehenden Jahrringen stärker auswirkt als bei liegenden. Dagegen ließen Untersuchungen von GABER (1940) an Fichtenholz bei Kantenabmessungen zwischen 4- und 10 cm keinen Einfluß der Querschnittsgröße auf die Quetschgrenze erkennen. Die hier von GABER angegebenen Werte für Rot- und Hainbuchenholz beziehen sich jeweils auf Würfel mit einer Kantenlänge von 5 cm.

Der nach Formel $\frac{P - L_0}{F_0 \cdot \Delta L}$ errechnete E-Modul der radial geprüften Proben der deutschen und persischen Hainbuchen beträgt 6375- bzw. 6797 kp/cm² und der für die Rotbuche 5298 kp/cm². Diese Zahlen stimmen mit dem in DIN 1052 für die Eiche und Rotbuche angegebenen Durchschnittswert von 6000 kp/cm² fast überein. Wie bei den übrigen Festigkeitsuntersuchungen wurde auch hier die Beziehung Rohdichte/Stauchgrenze geprüft. Dieser Zusammenhang ist zwar statistisch gesichert, aber, wie aus der Tabelle 19 zu entnehmen ist, nicht besonders eng. Die Korrelationskoeffizienten schwanken zwischen 0,11 und 0,53 und zeigen an, daß die 1 % Stauchgrenze in hohem Maße zufällig streut.

Im Ganzen zeigen die vorstehenden Ergebnisse, daß die Querdrukfestigkeit des Hainbuchenholzes die der Rotbuche erheblich übersteigt, wobei die Proben aus den persischen Waldgebieten besonders günstige Werte ergeben haben.

3.3.4.3 Biegefestigkeit und Biege-E-Modul

Für eine Reihe von Verwendungsmöglichkeiten sind gute Elastizitätseigenschaften bzw. hohe Biegefestigkeiten Voraussetzung. Der Prüfung dieser Eigenschaften wurde daher ebenfalls große Aufmerksamkeit geschenkt.

Neben der Druckfestigkeit längs zur Faser wurden von den mechanischen Eigenschaften vor allem die Biegefestigkeit und Biege-E-Modul des Holzes geprüft. Sie stellen die wichtigsten statischen Festigkeiten hinsichtlich der Holzverwendung dar. Wie bereits erwähnt, wurde aus dem unteren Teil jedes Stammes ein etwa 50 - 60 cm langer Abschnitt zur Herstellung von Biege- (2x2x36 cm) und

Schlagbiegestäben (2x2x30 cm) benutzt. Bei der Auswertung der Biegefestigkeitsprüfungen wurde gleichzeitig auch der Elastizitätsmodul bestimmt. In Tabelle 20 sind die Ergebnisse der Biegefestigkeitsprüfung für das Gesamtmaterial aus Persien und Deutschland wiedergegeben und einigen Literaturangaben gegenübergestellt. Wie auf Grund der hohen Druckfestigkeiten zu erwarten war, erreichen die persischen Hainbuchen auch hohe Biegefestigkeiten. Ihr Mittelwert beträgt 1845 kp/cm^2 , übertrifft damit die Angaben von KOLLMANN (1951), FRANK (1954), VORREITER (1949) und GIORDANO (1942) und stimmt mit dem relativ hohen Wert von GHELMEZIU und ISTRATE (1960) fast überein. Der Mittelwert der deutschen Stämme liegt bei 1590 kp/cm^2 , ist damit erheblich schlechter als der der persischen Hainbuchen, entspricht aber annähernd den von KOLLMANN bzw. von GIORDANO angegebenen Werten. Der Unterschied der Biegefestigkeitswerte der persischen und der deutschen Stämme läßt sich bei der verhältnismäßig geringen Probenzahl wegen der großen Streuungen der Einzelwerte aber statistisch nicht sichern. Bei den Häufigkeitskurven (Abb. 36) fällt wiederum, wie schon bei der Rohdichte und der Druckfestigkeit, die große Variationsbreite der Biegefestigkeitswerte der persischen Stämme auf. Sie beträgt 1600 kp/cm^2 und ist bedeutend größer als die der deutschen Stämme, die sich über 1100 kp/cm^2 erstreckt. Dieser Unterschied kommt auch durch die entsprechenden Werte der Streuung ($\pm 284 \text{ kp/cm}^2$ für die persischen und ± 222 für die deutschen Hainbuchen) bzw. der Variationskoeffizienten (15,4 bzw. 14,0 %) deutlich zum Ausdruck. Außerdem ist der Abb. 36 zu entnehmen, daß lediglich ein geringer Teil der Proben (etwa 9 - 10 %) eine Biegefestigkeit zwischen 900 und 1300 kp/cm^2 aufweist, was etwa der Biegefestigkeit durchschnittlichen Buchenholzes entspricht. Dagegen erreichte ein beträchtlicher Teil der Proben Werte zwischen 1600 und 2000 kp/cm^2 , wie sie bei anderen Baumarten nur selten auftreten. Darüber

Tabelle 20

Herkunft Autor	Roh- dichte ρ_{12} g/cm ³	Biege- [*] festigkeit σ_{bB} kp/cm ²	Streu- ung kp/cm ²	Var. koeff. %	Grenzwerte [*] kp/cm ²
Persien	0,80	1845	± 284	15,4	882 - 2413
Deutschl.	0,77	1590	± 222	14,0	866 - 1969
KOLLMANN	0,81	1600	-	-	580 - 2000
FRANK	0,81	1733	-	-	627 - 2133
VORREITER	0,81	1733	-	-	- -
GHELMIZIU u. ISTRATE	0,85	1866	-	-	1413 - 2240
GIORDANO	0,79	1600	-	-	1392 - 1933

* Die Biegefestigkeitswerte der verschiedenen Autoren wurden nach der Formel $\sigma_{dB_{12}} = \sigma_{dBu} \cdot \frac{36}{42-u}$ auf eine einheitliche Holzfeuchtigkeit von 12 % umgerechnet.

hinaus wurden bei einem nicht geringen Teil der Biegestäbe aus persischen Hainbuchen (fast 27 %) Werte zwischen 2000 und 2500 kp/cm² gefunden, das entspricht sogar etwa dem Mittelwert, den KOLLMANN (1951) für das ungewöhnlich biegefesteste Bongossi-Holz angibt (2460 kp/cm²).

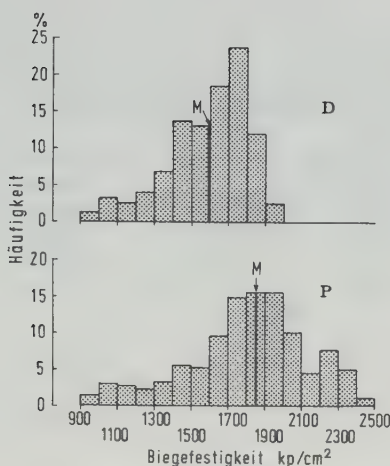


Abb. 36 Häufigkeitsverteilung der Biegefestigkeit des persischen und deutschen Untersuchungsmaterials

Tabelle 21 gibt die Ergebnisse der Regressionsanalyse für die Beziehung zwischen Biegefestigkeit und Rohdichte wieder. Sowohl für das persische als auch das deutsche Material können diese Beziehungen mit Hilfe der linearen Funktion bestätigt werden und es lassen sich damit über 70 % der Beobachtungswerte der persischen Hainbuchen, aber nur etwa 47 % der deutschen Hainbuchen erklären. Ein ähnliches Bild wie bei der Druckfestigkeit zeigen die Zusammenhänge zwischen der Rohdichte und der Biegefestigkeit für die einzelnen Wuchsgebiete und für das Gesamtmaterial aus Persien und Deutschland. In Abb. 37 sind die Regressionslinien für diese Zusammenhänge dargestellt. Trotz des geringen Bestimmtheitsmaßes ist zum Vergleich auch die Regressionsgerade für die deutschen Stämme eingezeichnet.

Tabelle 21 Regressionsanalyse der Beziehung
Biegefestigkeit - Rohdichte

Untersuchungs- gebiet	Anzahl der Proben	kriti- scher F-Wert P= 5 %	Koeffizienten der Funktionen	F-Wert der Regres- sion	r	B (%)
NO	146	3,84	Konstante $a = -840$ $x_1 = 3309$ $F = 248$	248	0,796	63,34
N	37	4,13	Konstante $a = 858$ $x_1^2 = 1684$ $F = 77$	77	0,829	68,81
NW	119	4,0	Konstante $a = 575$ $x_1^2 = 1996$ $F = 452$	452	0,891	79,45
Gesamt- material Persien	302	3,84	Konstante $a = -878$ $x_1 = 3402$ $F = 784$	784	0,850	72,35
Gesamt- material Deutschland	304	384	Konstante $a = -1067$ $x_1 = 3449$ $F = 263$	263	0,683	46,64

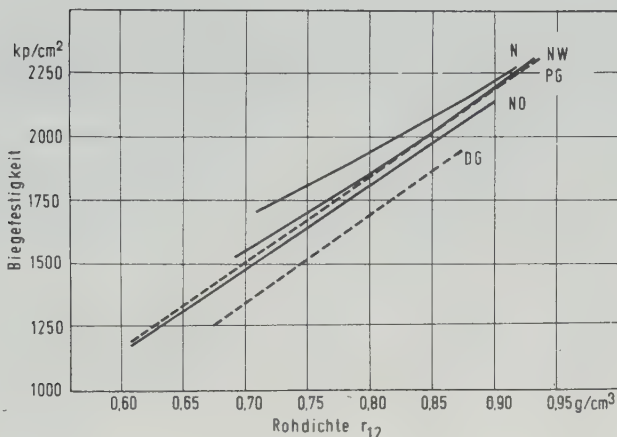


Abb. 37 Durch Regressionslinien dargestellte Beziehung zwischen Biegefestigkeit und Rohdichte für die einzelnen Untersuchungsgebiete und das Gesamtmaterial des Iran und Deutschlands

Auf die gleiche Rohdichte bezogen weist wiederum das Material aus dem nördlichen Teil der kaspischen Wälder durchwegs höhere Werte als das aus den übrigen Gebieten auf. Ähnlich wie Rohdichten und Druckfestigkeiten sind auch die mittleren Biegefestigkeiten der Einzelstämme erheblichen Schwankungen unterworfen. Nach den in Tabelle 22 zusammengestellten Ergebnissen sind die Festigkeitswerte der persischen Stämme bei gleicher Rohdichte eindeutig höher als die der deutschen. Überraschend gering ist die mittlere Biegefestigkeit des Stammes II aus Ebrach mit 1418 kp/cm^2 bei fast gleicher Rohdichte wie der Stamm 7 aus Persien, der aber einen Festigkeitswert von 1715 kp/cm^2 aufweist. Entsprechend ihrer hohen Rohdichte treten bei einigen

Tabelle 22

Stamm Nr.	Roh- dichte r_{123} g/cm ³	Biege- festigkeit σ_{bb} kp/cm ²	Streuung kp/cm ²	Var. Koeff. %	Grenzwerte kp/cm ²
3	0,813	1716	172	10,0	1283 - 1988
4	0,773	1704	159	9,3	1387 - 1958
6	0,835	1844	242	13,1	1414 - 2248
7	0,730	1715	83	4,8	1535 - 1836
8	0,660	1319	175	13,2	882 - 1575
9	0,830	2072	140	6,7	1677 - 2326
11	0,800	1907	168	8,8	1436 - 2122
12	0,845	1947	128	6,6	1666 - 2269
13	0,912	2269	91	4,0	1621 - 2413
15	0,759	1739	149	8,5	1461 - 1981
17	0,870	2130	163	7,6	1811 - 2338
18	0,742	1793	112	6,2	994 - 1971
I	0,808	1734	113	6,5	1291 - 1969
II	0,737	1418	211	14,9	866 - 1891
III	0,749	1656	134	8,1	1281 - 1878

Stämmen aus den feuchteren Gebieten im N und NW auffallend hohe Werte von mehr als 2000 kp/cm² auf, dagegen ist die mittlere Biegefestigkeit des leichtesten persischen Stammes Nr. 8 aus dem trockenen Gebiet mit 1319 kp/cm² gering und liegt wie die Druckfestigkeit unter der der deutschen Stämme. Die starken Schwankungen der Festigkeitswerte zwischen den Einzelstämmen bewirken auch gewisse Unterschiede zwischen den Durchschnittswerten der persischen Wuchsgebiete. Während der Mittelwert für das nördliche und

nordwestliche Wuchsgebiet 1964 kp/cm^2 beträgt, beträgt er im Nordosten nur 1717 kp/cm^2 . Diese Unterschiede lassen sich jedoch statistisch ebenso wenig sichern wie die zwischen dem persischen und deutschen Gesamtmaterial. Die Streuungen bzw. der durchschnittliche Variationskoeffizient der persischen Einzelstämme beträgt 8,2 % und übertrifft damit den entsprechenden Durchschnittswert der Rohdichte (4,3 %). Zwischen den Variationskoeffizienten der deutschen und der persischen Stämme sind keine eindeutigen Unterschiede zu erkennen.

Wie schon früher erwähnt, bestand zunächst die Absicht, die Veränderung aller Festigkeitseigenschaften vom Mark zur Rinde und in verschiedenen Stammhöhen zu prüfen. Da aber bei der Rohdichte wie auch bei der Druckfestigkeit keine nennenswerten zonenweisen Unterschiede auf dem Stammquerschnitt nachgewiesen werden konnten, lag es nahe, bei den übrigen Festigkeitsuntersuchungen diese Schwankungen auf dem Querschnitt lediglich an wenigen Stammscheiben zu verfolgen. Dabei zeigte sich für die Biegefestigkeit ein ähnliches Bild wie bei der Rohdichte und Druckfestigkeit, nämlich keine gesetzmäßige Verteilung der Einzelwerte über die verschiedenen Zuwachszonen.

In Tabelle 23 sind die Mittelwerte der aus den Biegefestigkeiten errechneten Elastizitäts-Moduln sowie ihre Streuungen und Grenzwerte für die persischen und deutschen Hainbuchen wiedergegeben und einigen Literaturangaben gegenübergestellt. Das Holz der Hainbuchen aus Persien, deren Mittelwert $167\,324 \text{ kp/cm}^2$ beträgt, liegt etwa in dem aus der Literatur bekannten Rahmen und ist im Durchschnitt etwas elastischer als normales Buchenholz. Dagegen fallen die deutschen Stämme eindeutig ab, ihr Mittelwert von $144\,360 \text{ kp/cm}^2$ liegt wesentlich unter den Durchschnittswerten verschiedener anderer Autoren und ist um gut 14 % niedriger als der der persischen Hainbuchen. Doch läßt sich ebenso wie bei der Biegefestigkeit auch der Unterschied dieser

Tabelle 23

Herkunft Autor	Roh- dichte ρ_{12} g/cm ³	* Elasti- zitäts modul kp/cm ²	Streuung kp/cm ²	Var. Koeff. %	Grenzwerte * kp/cm ²
Persien	0,80	167 324	$\pm 27\ 112$	16,2	100 610 - 225 088
Deutschl.	0,77	144 360	$\pm 16\ 701$	11,6	103 760 - 171 170
KOLLMANN (1951)	0,81	162 000	-	-	70 000 - 177 000
FRANK (1954)	0,81	176 727	-	-	76 363 - 193 090
VORREITER (1949)	0,81	176 727	-	-	- -
GHELMEZIU u. ISTRATE (1960)	0,85	163 963	-	-	134 290 - 189 381

Die von den verschiedenen Autoren angegebenen E-Moduln wurden nach der Formel $E_{12} = E_u \frac{X}{48-u} \frac{36}{48-u}$ auf eine einheitliche Holzfeuchtigkeit von 12 % umgerechnet.

beiden E-Modul-Mittelwerte statistisch nicht sichern. Entsprechend den Biegefestigkeiten lassen die in Abb. 38 dargestellten Häufigkeitskurven des Elastizitäts-Moduls bei den persischen Hainbuchen eine größere Variationsbreite erkennen als bei den deutschen Stämmen, was wiederum auch durch größere Streuungen ($\pm 27\ 112$ kp/cm² für die persischen und $\pm 16\ 701$ für die deutschen Hainbuchen) und höhere Variationskoeffizienten (16,2 bzw. 11,6 %) zum Ausdruck kommt.

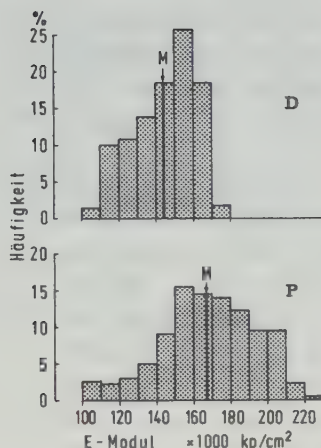


Abb. 38

Häufigkeitsverteilung des E-Moduls des persischen und deutschen Untersuchungsmaterials

Auch bei den Grenzwerten treten große Unterschiede zwischen den beiden Kollektiven auf. Die Grenzwerte der persischen Hainbuchen variieren zwischen 100 610 und 225 088 kp/cm^2 ; ihre Variationsbreite ist damit größer als die von KOLLMANN angegebenen Werte. Die Werte der deutschen Stämme liegen dagegen zwischen 103 760 und 171 170 kp/cm^2 , ihr Höchstwert stimmt mit dem von KOLLMANN angegebenen fast überein. Wie bei der Biegefestigkeit unterliegen auch die E-Modul-Mittelwerte der Einzelstämme erheblichen Schwankungen. Sie streuen bei den persischen Hainbuchen zwischen 149 773 und 202 677 kp/cm^2 und bei den deutschen Stämmen zwischen 132 303 und 155 098 kp/cm^2 . Innerhalb des persischen Materials sind die hinsichtlich ihrer Rohdichte und ihrer statischen Festigkeitseigenschaften überlegenen Einzelstämme auch elastischer als die anderen, die deutschen Hainbuchen

sind dagegen insgesamt als weniger elastisch anzusprechen. Bei Betrachtung der einzelnen Wuchsgebiete verdeutlichen die entsprechenden Zahlen, wie bei den statischen Festigkeiten, eine Überlegenheit des Elastizitäts-Moduls der Hainbuchen aus den feuchteren Gebieten im N und NW gegenüber denen aus dem trockenen NO-Teil der kaspischen Wälder.

Die Regressionsanalyse, deren Ergebnisse Tabelle 24 enthält, läßt eine Abhängigkeit zwischen Rohdichte und E-Modul erkennen. Während für das Gesamtmaterial aus Persien und Deutschland, sowie das Material aus den feuchteren Gebieten im N und NW die Beziehungen mit Hilfe der linearen Funktion bestätigt werden können, lassen sich für die Hainbuchen aus dem nordöstlichen Teil der kaspischen Wälder lediglich beim quadratischen Ausgleich gesicherte Beziehungen herleiten. Das Bestimmtheitsmaß für die Beziehung E-Modul/Rohdichte beträgt bei den persischen Hainbuchen fast 69 % und ist damit um 15 % größer als der entsprechende Wert der deutschen Stämme. Durch die lineare Ausgleichsfunktion lassen sich über 70 % der Beobachtungswerte aus dem nordwestlichen und über 80 % aus dem nördlichen und durch den quadratischen Ausgleich 65 % aus dem nordöstlichen Teil der kaspischen Wälder erklären. Die in Abb. 39 dargestellten Regressionslinien für das Gesamtmaterial aus Persien und Deutschland sowie für die einzelnen Wuchsgebiete lassen erkennen, daß sich die Zusammenhänge zwischen Rohdichte und E-Modul ähnlich verhalten wie bei der Biegefestigkeit. Während das Niveau dieser Beziehung für die Hainbuchen aus dem nördlichen Teil der kaspischen Wälder eindeutig höher liegt als das der Stämme aus den beiden anderen Gebieten, weist die Regressionsgerade der deutschen Hainbuchen bei ähnlichem Steigungsmaß ein geringeres Niveau auf, diese sind also auch bei gleicher Rohdichte weniger elastisch als die Stämme aus dem Iran.

Tabelle 24 Regressionsanalyse der Beziehung
E-Modul - Rohdichte

Untersuchungs- gebiet	Anzahl der Proben	kriti- scher F-Wert P = 5 %	Koeffizienten der Funktionen	F-Wert der Regres- sion	r	B (%)
NO	146	3,84	Konstante $a = 23\ 850$ $x_1^2 = 218\ 848$ $F = 274$	274	0,809	65,52
N	37	4,13	Konstante $a = 24\ 680$ $x_1 = 262\ 059$ $F = 179$	179	0,915	83,68
NW	119	4,0	Konstante $a = 60\ 575$ $x_1 = 283\ 973$ $F = 306$	306	0,850	72,34
Gesamt- material Persien	302	3,84	Konstante $a = -86\ 349$ $x_1 = 316\ 933$ $F = 666$	666	0,830	68,95
Gesamt- material Deutschl.	304	3,84	Konstante $a = 80\ 650$ $x_1 = 291\ 999$ $F = 436$	436	0,768	59,07

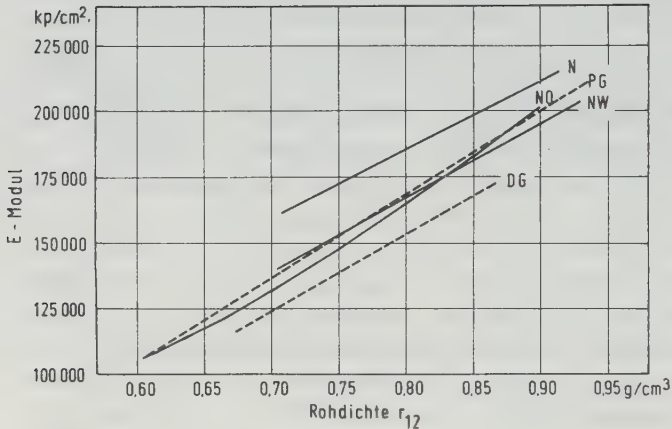


Abb. 39 Durch Regressionslinien dargestellte Beziehung zwischen E-Modul und Rohdichte für die einzelnen Untersuchungsgebiete und das Gesamtmaterial des Iran und Deutschlands.

3.3.4.4 Schlagbiegefestigkeit und dynamische Kennzahl

Neben den statischen Festigkeiten des Holzes ist die genaue Kenntnis der dynamischen Eigenschaften für die Praxis der Holzverarbeitung und Holzverwendung von entscheidender Bedeutung. Erfahrungsgemäß führen dynamische Belastungen bzw. schlagförmige, kurzfristige Beanspruchungen von hochbeanspruchten Holzteilen weitaus häufiger zu Brüchen als sie durch Überforderung der statischen Festigkeitseigenschaften verursacht werden. Deshalb ist die Schlagbiege-

festigkeit zur Charakterisierung der Werkholzeigenschaften von Hainbuchenholz besonders geeignet. Wie schon erwähnt, wurden die hierfür benötigten Probekörper aus den selben Stammabschnitten herausgearbeitet wie die Biegeproben. Ihre Abmessungen betrugen $2 \times 2 \times 30$ cm.

Tabelle 25

Herkunft Autor	Roh- dichte r_{12} g/cm^3	Schlag- biege- festigk. kpm/cm^2	Streuung kpm/cm^2	Varia. Koeff. %	Grenzwerte kpm/cm^2	Dyn. Kenn- zahl km
Persien	0,80	0,83	$\pm 0,200$	24,1	0,27 - 1,40	1,30
Deutschl.	0,77	0,74	$\pm 0,175$	23,5	0,25 - 1,43	1,25
KOLLMANN	0,81	0,80	-	-	- -	1,22
FRANK	0,81	0,80	-	-	- -	1,22
VORREITER	0,81	0,82	-	-	- -	1,25

In Tabelle 25 sind die Mittelwerte und Streuungen der Bruchschlagarbeit für die persischen und deutschen Hainbuchen angegeben und wiederum einigen Angaben der bereits mehrfach erwähnten Autoren gegenübergestellt. Ein Vergleich mit den von KOLLMANN (1951), FRANK (1954) und VORREITER (1949) mitgeteilten Durchschnittswerten für die europäische Hainbuche zeigt, daß das Holz der hier geprüften persischen Hainbuchen mit ähnlicher Rohdichte eine etwas höhere Schlagbiegefestigkeit, nämlich durchschnittlich $0,83 \text{ kpm/cm}^2$ aufweist, während die Bruchschlag-

arbeit der deutschen Stämme $0,74 \text{ kpm/cm}^2$ beträgt und damit nicht nur unter den Werten der persischen Hainbuchen, sondern auch unter den Angaben der übrigen Autoren liegt. Diese Unterschiede lassen sich jedoch infolge der bekannt großen Streuungen der Bruchschlagarbeit statistisch nicht sichern. Die Streuung der Werte bzw. der Variationskoeffizient beträgt bei den persischen Hainbuchen $24,1 \%$ und ist wie auch bei den übrigen untersuchten statischen Festigkeiten größer als bei den deutschen Stämmen. Die Grenzwerte der beiden Kollektive liegen dagegen in einem ähnlichen Rahmen, wie die in Abb. 40 dargestellten Häufigkeitskurven veranschaulichen. Der häufigste Wert beider Kollektive liegt zwischen 70 und 80 kpm/cm^2 und unterscheidet sich nur geringfügig von den jeweiligen Mittelwerten. Sowohl bei den persischen als auch bei den deutschen Hainbuchen weist ein beträchtlicher Teil aller Proben (über 50%) Werte zwischen $0,70$ und $1,0 \text{ kpm/cm}^2$ auf, was etwa der Schlagbiegefestigkeit durchschnittlichen Buchenholzes entspricht. Auch bei Berücksichtigung ihrer höheren Rohdichte sind die persischen Hainbuchen noch zäher als die deutschen Stämme. Die dynamische Kennzahl, bei der die mit zunehmender Rohdichte überproportional ansteigende Schlagbiegefestigkeit durch Quadrierung der Rohdichte im Nenner ausgeglichen wird, beträgt für die persischen Hainbuchen $1,30 \text{ km}$ und übersteigt damit ebenfalls die in der Tabelle 25 aufgeführten Angaben der anderen Autoren, während der entsprechende Wert der deutschen Hainbuchen von $1,25 \text{ km}$ mehr oder weniger mit den übrigen Angaben übereinstimmt.

Über die Ergebnisse einer Regressionsanalyse für die Beziehung Bruchschlagarbeit/Rohdichte unterrichtet Tabelle 26. Weder für das persische noch für das deutsche Gesamtmaterial läßt sich mit Hilfe der Regressionsanalyse eine brauchbare Beziehung herleiten. Die ermittelten Bestimmtheitsmaße ($41,32 \%$ bzw. $45,93 \%$) lassen erkennen, daß bei

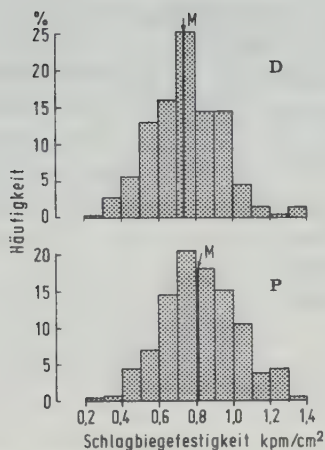


Abb. 4o

Häufigkeitsverteilung der Schlagbiegefestigkeit des deutschen und persischen Untersuchungsmaterials

der Bruchschlagarbeit noch mehr als bei den statischen Festigkeiten außer dem Rohdichteeinfluß noch andere Ursachen für die Festigkeitsstreuung verantwortlich sind. Das bestätigt die Feststellung KOLLMANNs (1941), daß die Rohdichte allein keinesfalls ein zuverlässiger Maßstab für die Zähigkeit bzw. Sprödigkeit eines Holzes ist. Die geringen Bestimmtheitsmaße lassen die Darstellung der Beziehung Schlagbiegefestigkeit/Rohdichte mittels einer berechneten Ausgleichsline nicht sinnvoll erscheinen.

Ähnlich sind die Ergebnisse bei getrennter Betrachtung der verschiedenen Wuchsgebiete, wenn auch für die feuchteren Gebiete im N und NW der kaspischen Wälder etwas höhere Bestimmtheitsmaße berechnet werden konnten. Mehr noch als bei statischen Festigkeiten treten auch

Tabelle 26 Regressionsanalyse der Beziehung
Bruchschlagarbeit - Rohdichte

Untersuchungs- gebiet	Anzahl der Proben	kriti- scher F-Wert P= 5 %	Koeffizienten der Funktionen	F-Wert der Regres- sion	r	B (%)
NO	133	3,84	Konstante $a = 0,36496$ $x_1^2 = 0,6193$ $F = 23$	23	0,387	15,0
N	39	4,13	Konstante $a = 1,2501$ $x_1 = 2,630$ $F = 55$	55	0,774	59,8
NW	123	4,0	Konstante $a = 7,744$ $x_1 = 18,7122$ $F = 16,19$ $x_1^2 = 9,9556$ $F = 12,75$	68	0,729	53,2
Gesamt- material Persien	295	3,84	Konstante $a = 0,07817$ $x_1^2 = 1,14504$ $F = 206$	206	0,643	41,32
Gesamt- material Deutschl.	337	3,84	Konstante $a = 1,30954$ $x_1 = 2,65854$ $F = 285$	285	0,678	45,93

bei der Schlagbiegefestigkeit erhebliche Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Einzelstämme auf (Tabelle 27). Dabei zeichnen sich einige sehr dichte und druckfeste Stämme aus den feuchteren Wuchsgebieten auch durch besondere Zähigkeit aus, doch entsprechen höheren Rohdichtewerten durchaus nicht immer auch bessere Schlagbiegefestigkeiten. Insbesondere sind die beiden deutschen Stämme I und III erheblich zäher als einige persische Stämme aus dem trockeneren NO bei vergleichbarer Rohdichte. Betrachtet man die Bruchschlagarbeit der Einzelstämme im Zusammenhang mit ihrer Rohdichte, so fällt besonders auf, daß gerade die leichteren Stämme vielfach bessere dynamische Kennzahlen aufweisen als manche mit sehr dichtem Holz (Abb. 41). So beträgt z.B. die mittlere dynamische Kennzahl des leichtesten Stammes (Nr. 8 aus Persien) 1,49 km, das ist der Höchstwert aller Stämme, während sie bei einigen Stämmen mit hoher Rohdichte (z.B. Nr. 13 und 17 aus Persien) nur Werte von 1,38 bzw. 1,22 km aufweist. Auch der Minimalwert von 1,0 km tritt bei einem ziemlich dichten Stamm auf (Nr. 6). Die deutschen Stämme, die sich hinsichtlich ihrer sonstigen Eigenschaften meist schlechter als die persischen verhalten, sind gemessen an ihrer Rohdichte, ebenfalls relativ zäh, insbesondere Stamm III, bei dem der zweitbeste Wert gefunden wurde. Trotz dieser erheblichen Schwankungen zwischen den Einzelstämmen bleibt festzuhalten, daß deutliche Unterschiede zwischen den Stämmen der einzelnen persischen Wuchsgebiete bestehen und zwar ist grundsätzlich eine Zunahme der Rohdichte und der dynamischen wie auch der statischen Festigkeit vom trockenen NO nach den feuchteren Gebieten in N und NW festzustellen, während zwischen den beiden letzteren kaum ein Unterschied besteht.

Die dynamischen Festigkeitswerte können innerhalb des gleichen Stammes beträchtlichen Schwankungen unterliegen.

Tabelle 27

Stamm Nr.	Roh- dichte γ_{12}^3 g/cm ³	Schlag- biege- festigk. kpm/cm ²	Streuung kpm/cm ²	Var. Koeff. %	Grenzwerte kpm/cm ²	Dyn. Kenn- zahl km
3	0,812	0,70	$\pm 0,148$	21,0	0,37 - 0,94	1,06
4	0,774	0,70	$\pm 0,154$	22,0	0,39 - 0,99	1,17
6	0,841	0,72	$\pm 0,166$	23,2	0,27 - 1,01	1,00
7	0,728	0,75	$\pm 0,083$	11,0	0,57 - 0,84	1,41
8	0,665	0,66	$\pm 0,144$	21,7	0,39 - 0,99	1,49
9	0,829	0,93	$\pm 0,094$	10,1	0,74 - 1,16	1,34
11	0,803	0,89	$\pm 0,144$	16,2	0,75 - 0,85	1,38
12	0,849	0,99	$\pm 0,158$	15,9	0,72 - 1,31	1,37
13	0,917	1,02	$\pm 0,121$	11,8	0,76 - 1,14	1,22
15	0,763	0,69	$\pm 0,131$	19,0	0,27 - 0,92	1,18
17	0,870	1,05	$\pm 0,164$	15,6	0,67 - 1,40	1,38
18	0,743	0,69	$\pm 0,079$	11,4	0,57 - 0,84	1,25
I	0,805	0,81	$\pm 0,113$	14,0	0,26 - 1,43	1,24
II	0,738	0,64	$\pm 0,189$	29,3	0,32 - 1,35	1,16
III	0,750	0,82	$\pm 0,164$	19,9	0,37 - 1,13	1,46

Die Variationskoeffizienten der persischen Stämme liegen zwischen 10,1 und 23,2 % und sind wesentlich größer als die entsprechenden Werte der Druckfestigkeit (4,3 - 9,9). Das gleiche gilt für die Variationskoeffizienten der drei deutschen Stämme, die zwischen 14,0 und 29,3 % schwanken. Daraus ergibt sich wie schon bei den statischen Festigkeiten eine erheblich größere Variationsbreite der dynamischen Festigkeitseigenschaften der wenigen deutschen Hainbuchen gegenüber der persischen.

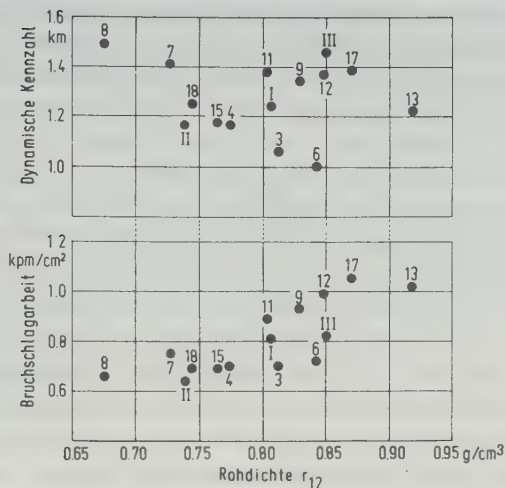


Abb. 41 Beziehung zwischen Bruchschlagarbeit bzw. dynamischer Kennzahl und Rohdichte der Einzelstämme des persischen und deutschen Untersuchungsmaterials

Die Verteilung der Bruchschlagarbeit über dem Stammquerschnitt wurde an einigen Probestämmen mit extremen Festigkeitseigenschaften untersucht. Das Ausmaß der Schwankungen der Einzelwerte scheint hier noch ausgeprägter zu sein als bei den statischen Festigkeiten, doch war irgendeine Gesetzmäßigkeit hierfür nicht wahrzunehmen, ein zonenweiser Wechsel der Bruchschlagarbeit auf dem Stammquerschnitt in Abhängigkeit von der Entfernung vom Mark bzw. vom Alter ist nicht zu erkennen. Ein ähnliches Verhalten fand v. PECHMANN (1953) bei Untersuchungen an Rotbuchenholz aus ver-

schiedenen süddeutschen Wuchsgebieten. Er weist in diesem Zusammenhang ebenfalls auf die beträchtliche Streuung der Festigkeitswerte von Einzelproben innerhalb des selben Stammabschnitts hin, die die Schwankung von Stammmittelwerten in einem Bestand bei weitem übertreffen können.

4. VERWENDUNGSMÖGLICHKEITEN =====

VON HAINBUCHENHOLZ =====

Die physikalischen und technologischen Eigenschaften des Hainbuchenholzes bieten zwar gute Voraussetzungen für seine Verarbeitung, doch wird es bisher auch in Ländern, wo größere Mengen davon zur Verfügung stehen, wirtschaftlich nur ungenügend genutzt. Daher war es ein wesentliches Ziel dieser Untersuchung, brauchbare Unterlagen für die Erschließung neuer und vielseitigerer Verwendungsmöglichkeiten dieser Holzart zu erarbeiten. Zu diesem Zweck wurde die erreichbare Literatur ausgeschöpft und Erfahrungen der Holzindustrie ausgewertet. Außerdem wurden auch eigene Untersuchungen durchgeführt, um die Brauchbarkeit des Hainbuchenholzes für bestimmte Bereiche der Holzverwertung, z.B. für Eisenbahnschwellen oder zur Herstellung von Sperrholz zu testen.

4.1 Bisherige Erfahrungen über die Verarbeitung von Hainbuchenholz aus der Holzindustrie und nach Literaturangaben.

4.1.1 Die Verarbeitung von Hainbuchenschnittholz

Als Baumart zweiter Größenordnung, die vorwiegend in Misch-

beständen als Begleiterin der Eiche auftritt, ist die Hainbuche nur selten bestandsbildend oder hauptständig anzutreffen (KÖSTLER 1950). Oft erscheint sie als Stockausschlag mit wenig ansprechenden Stammformen im Unter- und Zwischenstand. Ihre Leistungsfähigkeit ist, wie VOLK (1974) feststellt, vielfach unterschätzt worden. Dementsprechend fanden auch die Verwendungsmöglichkeiten des Hainbuchenholzes verglichen mit dem Holz anderer Laubbaumarten meist zu wenig Beachtung. Auf Grund seiner überdurchschnittlichen Dichte und Festigkeit findet es vor allem überall dort Verwendung, wo eine größere Beanspruchung auf Stoß und Reibung erfolgt und Härte und Zähigkeit verlangt werden. BEGEMANN (1966) kennzeichnet in seinem Lexikon der Nutzhölzer das Holz der Hainbuche als eines der besten europäischen Werkhölzer für viele Gebrauchsgegenstände. Auch GOTTWALD (1958) betont den besonderen Wert des Hainbuchenholzes als Werkholz für Machinenteile, Geräte und Werkzeuge geringerer Dimensionen, wo eine besonders dichte und harte Oberfläche erforderlich ist. N.GHELMEZIU und V.ISTRATE (1960) weisen auf eine Reihe weiterer Verwendungsmöglichkeiten, wie z.B. Schuhabsätze, Schuhleisten, Holzwerkzeuge u.a. hin, wo das Holz hohen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt ist. Genauere Angaben über den derzeitigen Verbrauch von Hainbuchenholz finden sich in einer Arbeit von CH.KOLTZENBURG (1974) über Aufkommen und Verwendung von Buntlaubhölzern in der Bundesrepublik Deutschland. Die Verfasserin erwähnt besonders die Holzverwendung in technischen Bereichen, wo an die verwendeten Hölzer hohe Anforderungen hinsichtlich ihrer Festigkeitseigenschaften, vor allem der Elastizität, Druck-, Biege- und Schlagbiegefestigkeit gestellt werden. Wo auch eine ansprechende Farbe sowie ein gutes Stehvermögen verlangt werden, kommen vorwiegend Rot- und Hainbuche sowie Esche in Betracht. Ferner hat sich die Hainbuche unter den zerstreutporigen

Holzarten als besonders geeignet für die Herstellung von Meß- und Zeichengeräten sowie von Gliedmaßenstäben erwiesen, wo in erster Linie Stabilität und hohe Maßhaltigkeit gefordert werden. Bis zum Jahre 1972 ist nach KOLTZENBURG die industrielle Produktion von Holzwerkzeugen und -teilen in Westdeutschland auf 16 Millionen Stück mit einem Produktionswert von 28 Millionen DM angestiegen. Neben der Rotbuche spielt die Hainbuche in diesem Bereich der Holzverarbeitung die größte Rolle. Unter allen Holzwerkzeugen nimmt der Hobel mengenmäßig den ersten Platz ein. Weiter werden aus Hainbuchenholz Hefte für Stech- und Lochbeitel, Griffe, Hammerstiele, Holzschlegel, Leimzwingen, Schaufeln, Dreschflegelschwingen, Eggen, Rechenzähne, Radfelgen und andere landwirtschaftliche Geräte sowie Kegel, Kegelkugeln und Kegelbahnleisten hergestellt. Auch für die Schlagwerkzeuge von Musikinstrumenten wie z.B. für alle beweglichen Teile der Klaviermechanik wird wegen der starken mechanischen Beanspruchung in begrenztem Umfang neben Robinie auch Hainbuche verarbeitet. Auch in der Textilindustrie findet die Hainbuche Verwendung. Infolge der ebenfalls starken mechanischen Beanspruchung beim Webvorgang werden vor allem bei der Herstellung der Automaten- und Schußhülsen in der Feinweberei (Seide, feine Baumwolle, Chemiefasern) sowie für die Webschiffchen ("Webschützen") hohe Anforderungen an das verwendete Material gestellt, denen das Holz der Weißbuche ohne weiteres gerecht wird. Schließlich werden auch für die Anfertigung von Holzmodellen im Gießereimodellbau neben Holzwerkstoffen wie Multiplex und Delignit verschiedene Weich- und Hartlaubhölzer verwendet, wofür die Hainbuche ebenfalls geeignet ist.

Als Nachteil bei der Verarbeitung von Hainbuchenschnittholz ist seine hohe Schwindung anzusehen, die erhebliche Schwierigkeiten bei der Trocknung verursacht. Um das

Reißen und Verziehen des Schnittholzes nach Möglichkeit zu verhindern, werden die zur weiteren Verarbeitung im Musikinstrumentenbau oder zur Herstellung von Webschiffchen zugeschnittenen Kanteln zweckmäßigerweise möglichst gleich nach dem Einschnitt in Paraffin getaucht.

4.1.2 Die Herstellung von Spanplatten

Nach Angaben von H.R.BAUER (1973) hat sich in der Bundesrepublik Deutschland, die zu den größten Spanplattenproduzenten der Welt gehört, die Spanplattenindustrie von allen Zweigen der Holzindustrie in den beiden letzten Jahrzehnten seit 1950 technisch und mengenmäßig am raschesten fortentwickelt. H.SCHULZ (1974) hat in einem Vortrag über die künftige Spanplattenproduktion und die Holzbedarfsdeckung der Spanplattenindustrie unter anderem auch auf den zunehmenden Fortschritt der Technologie und die dadurch ermöglichte Verarbeitung neuer Holzarten und -sorten in diesem Industriezweig hingewiesen. Zur Sicherung und Erweiterung der Rohstoffbasis für die Spanplattenindustrie ist die Ausnutzung anderweitig schwer absetzbarer Holzarten und Sortimente wichtig. Für die Forstwirtschaft besteht ein besonderes Interesse, diejenigen Laubhölzer einer industriellen Verwertung zuzuführen, die bisher vorwiegend nur als Brennholz genutzt wurden. Über die Eignung verschiedener Baumarten, namentlich auch der harten Laubhölzer für die Herstellung von Spanplatten liegen heute umfangreiche Erfahrungen vor. Während zu Beginn der Spanplattenfertigung fast ausschließlich Nadelholz neben wenigen weichen Laubhölzern Verwendung fanden, hat bereits W.KLAUDITZ (1952) darauf hingewiesen, daß sich auch Hartlaubhölzer, wie die Rotbuche, zur Spanplattenherstellung eignen. Die Zusammenhänge zwischen der Rohdichte der verwendeten Hölzer und

der Dichte und Festigkeit der daraus hergestellten Platten wurden eingehend untersucht. Mit der Fortentwicklung der Spanplatten durch Beschichtung und verschiedenartige Oberflächenvergütung wuchsen die Ansprüche an die Härte und Druckfestigkeit der Platten, was wieder zu einer zunehmenden Verwendung härterer Laubhölzer führte.

In einer Untersuchung über die Eignung verschiedener Holzarten und -sortimente zur Herstellung von Spanplatten wurde von E.KEHR und W.SCHILLING (1965) unter anderen auch die Hainbuche getestet. Als Vergleichsholzarten dienten Aspe, Eiche, Kiefer und Fichte. Es wurden dreischichtige Spanplatten verschiedener Rohdichte hergestellt und ihre Eigenschaften in Abhängigkeit von dieser Kenngröße geprüft. Die Dickenquellung nach 2 und 24 Stunden Wasserlagerung erreichte bei den Eichenplatten den kleinsten und bei den Aspenplatten den höchsten Wert, bei den Hainbuchenspanplatten lag sie genau in der Mitte aller Vergleichsplatten. Bei der Prüfung der Dichte der einzelnen Deck- und Mittelschichten zeigten sich die deutlichsten Dichteunterschiede zwischen Deck- und Mittelschicht bei Spanplatten aus Kiefernholz, während jene aus Eichen- und Hainbuchenholz relativ geringe Unterschiede aufwiesen. Auf Grund dieser Ergebnisse ist Eiche und Hainbuche vorteilhaft in der Mittelschicht zu verwenden. In neueren Untersuchungen von G.STEGMANN und C.v.BISMARCK (1968) wurden neben technologischen Fragen auch wirtschaftliche Gesichtspunkte hinsichtlich der Verwendung von Laubhölzern für die Spanplattenherstellung behandelt. Die technologischen und hygroskopischen Eigenschaften von einschichtigen 16 mm dicken Spanplatten aus Laubholzarten, darunter auch aus Hainbuche, wurden mit denen von Kiefernholzspanplatten verglichen. Die aus Ahorn, Erle und Esche hergestellten Spanplatten wiesen im Biegeversuch besonders günstige Werte auf. Bei Spanplatten aus Birke, Eiche, Hainbuche und Rotbuche konnten lediglich

bei einer Plattenrohddichte um 650 kg/cm^3 Biegefestigkeitswerte erreicht werden, die weit oberhalb der von DIN 68761 geforderten Schrankenwerte liegen. Unter den gewählten Herstellungsbedingungen trat in den Platten aus den schweren Holzarten die geringste und in denen aus den leichten Holzarten die größte Dichtedifferenzierung zwischen Außenzone und Mittelzone auf. Im Gegensatz zu der Dimensionsänderung der dreischichtigen war die Dickenquellung der einschichtigen Spanplatten aus Hainbuche nach 24 Stunden Wasserlagerung relativ hoch. Bei der Prüfung des Einflusses des Dichtefaktors, d.i. das Verhältnis der Plattenrohddichte zur Holzrohddichte, auf die Querkzug- und Biegefestigkeit wurde festgestellt, daß bei den schweren Holzarten wie Buche, Hainbuche und Esche relativ hohe Festigkeitswerte erreicht werden, ohne daß eine generelle Verdichtung des Holzes in der Spanplatte eingetreten ist, d.h. die Plattenrohddichte ist niedriger als die Holzrohddichte bzw. der Dichtefaktor ist kleiner als 1.

Bei der Herstellung dreischichtiger Spanplatten bestätigten sich die Ergebnisse von E.KEHR und W.SCHILLING (1965), wonach sich bei Verwendung von schweren Holzarten in der Mittelschicht hochwertige Spanplatten herstellen lassen. Daß die aus 1 rm Rundholz gewonnene Spanausbeute bei schweren Hölzern höher als bei leichten ist, braucht nicht betont zu werden. Genauere Angaben darüber finden sich in der von STEGMANN und v.BISMARCK zusammengestellten Tabelle 28. Die größere Dichte des Ausgangsmaterials wirkt sich nicht nur auf die Plattenrohddichte sondern auch auf den Holzverbrauch aus (KLAUDITZ 1962), wobei die Holzeinsparung für Spanplatten gleicher Qualität bei Verwendung schwerer Hölzer (z.B. Buche) bis zu 15 % betragen kann (BUSCHBECK, KEHR und JENSEN 1961). Das schlägt sich auch entscheidend in den Kosten für den Materialaufwand nieder. Sowohl hinsichtlich des Holz-

verbrauchs als auch hinsichtlich des Materialkostenaufwands (Bindemittel und Holzkosten bei einem Bindemittelanteil von 8 %) schneidet, selbst wenn man berücksichtigt, daß Kiefern- und Fichtenplatten mit einer Rohdichte von 500 - 600 kg/cm³ qualitätsmäßig Buchenplatten mit einem Gewicht von etwa 700 kg/cm³ gleichzusetzen sind, die Hainbuche besonders günstig ab.(STEGMANN und v.BISMARCK 1968).

Tabelle 28 (aus STEGMANN und v.BISMARCK 1968)

Holzart	Rohdichte g/cm ³	Gewicht (atro) je m ³ Rundh.m.R. ca.kg	Spanausbeute [*] (atro) je m ³ Rundh.m.R. ca.kg
Pappel	0,38	275	220
Erle	0,49	350	280
Ahorn	0,59	420	340
Esche	0,65	470	375
Birke	0,61	440	350
Eiche	0,65	485	345
Buche	0,68	495	395
Hainbuche	0,79	570	460
Fichte	0,44	310	250
Kiefer	0,49	340	300

* unter Berücksichtigung von Aussiebgut (Rinde und Zerspanungsverlust)

4.1.3 Die Zellstoffherstellung

Mit der Entwicklung der verschiedenen Aufschlußverfahren wurden neben den klassischen Papierholzarten wie Fichte, Tanne und Kiefer sowie den später ebenfalls benützten weichen Laubholzarten (Pappel, Linde, Birke) ein ständig wachsender Anteil von harten Laubbaumarten z.B. Buche, Hainbuche, Eiche etc. für die Zellstoffindustrie nutzbar. Daß man auch aus Laubhölzern brauchbaren Zellstoff herstellen kann, ist seit langem bekannt und wird u.a. bestätigt durch die erfolgreiche Verarbeitung von Eukalyptusholz, von nordamerikanischen Hartholzarten oder von verschiedenartigen Tropenhölzern (TRENDLENBURG/MAYER-WEGELIN 1955). Die Verknappung an Nadelholz in Industrieländern mit großen Laubholzvorräten führte dazu, daß man zunächst prüfte, welche Laubhölzer sich technisch für die klassische Schlicffherstellung eigneten. Während Hölzer mit langen Fasern, wie z.B. Pappel, gute Ergebnisse erbrachten, wurden die kurzfaserigen Laubhölzer, wie Buche, nur sehr vereinzelt für Holzschliff verwendet, da mit ihnen beim chemischen Aufschluß mit den früher üblichen Kochverfahren keine ausreichende Papierfestigkeit erzielt werden konnte. Über die unterschiedlichen Verfahren zur Gewinnung, Aufbereitung und Bleichung der Laubholzfaser, sowie die physikalischen und chemischen Voraussetzungen zur Erreichung optimaler Bedingungen für die Zellstoffgewinnung aus Laubhölzern auf breiterer Basis für den Papier- und Pappesektor liegen zahlreiche Untersuchungen vor. Im Folgenden soll lediglich kurz auf die wichtigsten Angaben aus der Literatur und der Praxis über die Verwendung von Laubbaumarten, -insbesondere Hainbuche- in der Zellstoffindustrie und die sich daraus ergebenden Probleme eingegangen werden.

Nach W.GINZEL, S.M.SAAD und G.STEGMANN (1969) können laboratoriumsmäßig aus Pappel und Hainbuchenholz Papierfa-

serstoffe mit hoher Ausbeute (über 90 %) und hohem Weißgehalt (bis 80 % ELREPHO F.6) hergestellt werden. Auch in einigen mitteleuropäischen Ländern wie z.B. in Frankreich, Ungarn und ČSSR haben sich die Papier- und Zellstoffindustrien besonders auf die Verwendung von Laubhölzern wie Buche, Hainbuche, Eiche usw. eingestellt und verarbeiten nun vor allem die Holzarten, die dort am stärksten vertreten sind. Da diese Baumarten dort hauptsächlich im Nieder- und Mittelwald vorkommen und es sich dabei mehr oder weniger um Stangen mit schwachem Durchmesser handelt, ergeben sich gewisse Probleme bei der Ernte, bei der Entrindung und beim Zerspanen dieser Hölzer. Nach Angaben von J.M.NIERAT (1970) stellen in Frankreich Buche und Hainbuche die Hälfte des Laubholzanfalls für die Zellstoffindustrie dar, während Birke, Aspe und Pappel ungefähr ein Viertel und verschiedene andere Laubhölzer, vor allem Eiche, den restlichen Anteil ausmachen. Er empfiehlt die Entrindung dieser Hölzer im Walde mit Hilfe von mobilen Entrindungstrommeln, wobei die Stangen zunächst zersägt werden müssen. Um eine schnellere Entrindung der Hainbuche, die nach seiner Meinung nur für die Herstellung von Sulfitzellstoff geeignet ist, zu erreichen, unterziehen manche Fabriken ihr Holz vor dem Passieren der Trommel einer Dampfbehandlung. Beim Zerspanen kann die Hainbuche wie andere Hartlaubhölzer behandelt werden. In Ungarn haben sich LENGYEL und HAJDUCZKY (1970) mit der Entwicklung der Kochverfahren und der Verwendung einer größeren Zahl von Holzarten in der Papierindustrie beschäftigt. Da die vorhandenen Pappelbestände als Rohmaterial für die Papierindustrie nicht ausreichen, wurde die Verwertbarkeit anderer ungarischer Holzarten für die Papierherstellung geprüft. Durch Laboruntersuchungen wurde nachgewiesen, daß von den in Ungarn vorkommenden Baumarten neben der Pappel die Hainbuche den qualitativ besten Zellstoff ergibt, was gleichermaßen für Sulfat-, Säuresul-

fit-, Bisulfit und neutralen Sulfit-Zellstoff gilt. Außerdem haben Versuche in Papierfabriken bestätigt, daß bei der Produktion von Wellpappe Halbzellstoff aus Hainbuche sogar bis zu einem Anteil von mehr als 80 % zugefügt werden kann. Die chemische Zusammensetzung und die mechanischen Eigenschaften des Hainbuchenzellstoffes wurden denen anderer Laubholz Zellstoffe gegenübergestellt. Während KRAMAR und EBRINGEROVA (1970) betonen, daß Hainbuchenholz in seiner Morphologie, wie auch in seiner chemischen Zusammensetzung dem Buchenholz, dem wichtigsten Rohstoff der Zellstoffindustrie in der ČSSR, sehr ähnlich ist, konnten LENGYEL und HAJDUCZKY (1970) durch ihre Untersuchungen nachweisen, daß Sulfit-Zellstoff aus Hainbuchenholz sowohl die wertvollere chemische Zusammensetzung als auch die besseren Festigkeitseigenschaften als der entsprechende Pappelzellstoff besitzt. Da die Hainbuche zudem keinen Falschkern ausbildet, der ihre Verwendung zur Sulfitzellstofferzeugung beeinträchtigen könnte, wird sie im allgemeinen höher geschätzt als Buche.

Aus anderen Berichten der Papier- und Zellstoffindustrie -insbesondere aus Frankreich- geht hervor, daß die Hainbuche als Rohstoff für die Zellstoffproduktion meistens mit anderen Laubbaumarten gemischt wird. Ihr Holz wird als ausgezeichnetes Ausgangsmaterial angesehen, das sich leicht kochen läßt und einen hellen (klaren) Zellstoff mit besseren mechanischen Eigenschaften als die anderen in Frankreich verbreiteten Laubholzarten z.B. Eiche oder Buche, liefert. Neben einigen bekannten Produkten aus Hainbuchen-Bisulfitzellstoff, wie Pauspapier oder fettfestem Verpackungspergament, erwähnt DE LA TOUCHE (1965) die besondere Eignung der Hainbuche zur Herstellung von Kraftzellstoff. Er weist darauf hin, daß die Festigkeit dieses Hainbuchenzellstoffs ebenso gut ist wie die des Fichten- oder Kiefern Zellstoffs. Er besitzt von vorneherein eine

helle Farbe und läßt sich zudem leicht bleichen. Versuche haben gezeigt, daß bei der Herstellung von Papierzementsäcken 25 % Hainbuchenkraftzellstoff verwendet werden kann, ohne daß die Papiereigenschaften verändert werden. Ein großer Teil des Hainbuchenzellstoffs wird ungebleicht zu Kartons oder gebleicht zu Zeitungspapier weiterverarbeitet. Diese Angaben sind besonders interessant, wenn man die Hainbuchenholzpreise mit den Preisen vergleicht, die heute in Westeuropa und auch in Skandinavien für Kiefern- oder Fichtenzellstoffholz gezahlt werden.

4.1.4 Die Holzverkohlung

Die Verkohlung des Holzes ist vom Menschen schon vor Jahrtausenden betrieben worden, wobei neben der Holzkohleerzeugung die Gewinnung von Pech und Holzteer eine gewisse Rolle spielte (KNIGGE und SCHULZ 1966). Bis zum 19. Jahrhundert, bevor die Steinkohle im stärkeren Maße für die Eisenerzverhüttung nutzbar gemacht wurde, herrschte ein gewaltiger Bedarf an Holzkohle, der in manchen Gegenden sogar zur Devastierung ganzer Waldgebiete führte. Auch nach dem durch die Steinkohlenförderung bedingten Bedarfsrückgang behielt die Holzköhlerei noch bis Anfang des 20. Jahrhunderts eine gewisse Bedeutung für die Gewinnung von Essigsäure, Methylalkohol und Aceton. Seit auch diese Destillationsprodukte in großen Mengen mit geringeren Kosten synthetisch hergestellt werden, ist die Holzkohleproduktion in Mitteleuropa bis zur Bedeutungslosigkeit zurückgegangen. Nach SANDERMANN (1963) wurden im Jahre 1956 in der Bundesrepublik etwa 150 000 - 200 000 fm Holz zu 30 000 - 40 000 t Holzkohle verarbeitet, die heute fast nur noch in der Metallurgie, der Pharmazie, der Medizin und gewissen Zweigen der chemischen Industrie Verwendung findet. In jüngster Zeit ist ihre Bedeutung

allerdings infolge der zunehmenden Beliebtheit des Holzkohlegrills wieder etwas im Steigen. In einigen bisher weniger entwickelten Ländern scheint die Holzverkohlungs jedoch, wie beispielsweise YACHKASCHI (1968) ausführt, auch heute noch eine bedeutendere Rolle zu spielen. Nach seinen Angaben entfallen im Iran, wo bisher in den Wäldern praktisch noch keine Pflegemaßnahmen durchgeführt wurden, etwa 70 % des gesamten Holzeinschlags auf Brenn- und Kohlholz, davon werden mehr als 80 % von den Bewohnern der benachbarten Siedlungen und Städte verbraucht. GLÄSER (1968) vertritt die Meinung, daß der Brennholzverbrauch sogar noch gefördert werden sollte, da sonst Durchforstungen in den Laubholzbeständen des Nordiran auf die Dauer kaum durchgeführt werden können. Auf der anderen Seite befürwortet die iranische Regierung eine Verminderung des Brennholzverbrauchs, was nach YACHKASCHI's Meinung durch eine verbesserte Verbrennungstechnik in den Haushalten zu erreichen wäre.

Wie aus den Mitteilungen der persischen Forstverwaltung (1965) hervorgeht, ist die Holzverkohlungs im Iran infolge der gesetzlichen Einschränkungen von ca. 5 Millionen rm im Jahre 1958 auf 2,6 Millionen rm im Jahre 1964 zurückgegangen. Für das Jahr 1967 setzte TAHBAS (1967) den Holzverbrauch für die Holzkohlegewinnung auf rund 0,9 Millionen rm an, bis 1972 sollte er dann auf 0,5 Millionen rm gesunken sein. Erhebliche Einsparungen des Holzverbrauchs für die Holzkohlegewinnung sind durch die Verbesserung der Verfahren zu erreichen, z.B. durch die Verwendung europäischer Meileröfen statt der Meilerköhlerei im Wald, was eine Verringerung des Holzverbrauchs um 60 % bei gleicher Kohleproduktion zur Folge hätte (YACHKASCHI 1968). GLÄSER (1959) empfiehlt darüber hinaus, das Holz vor der Verkohlungs zu trocknen, statt wie bisher frisches Holz zu verwenden. Auch sollte in Zukunft bei den Durchforstungen anfallendes gesundes Stammholz sowie auch Fa-

serholz von der Verkohlung ausgeschlossen werden. Ein interessanter Aspekt der Holzverkohlung ist jedoch die Möglichkeit der Verwertung des anfallenden Ast-, Reisig- und Prügelholzes.

Hainbuchenholz eignet sich besonders gut zur Verkohlung und für Holzkohle aus dieser Holzart besteht, ähnlich wie für die aus Eichen- oder Buchenholz, wegen ihres höheren Heizwertes eine größere Nachfrage als für solche aus anderen Baumarten.

4.2 Eigene Untersuchungen über die Brauchbarkeit des Hainbuchenholzes zur Herstellung von Sperrholz und Eisenbahnschwellen

Der in den vorhergehenden Abschnitten gegebene knappe Überblick über die bisher üblichen Verwendungsarten von Hainbuchenholz macht deutlich, daß sich zwar für Schwachholz aussichtsreiche Möglichkeiten der industriellen Verwertung, wie insbesondere zur Herstellung von Spanplatten und Zellstoff anbieten, daß aber für das hochwertigere Stammholz wie für astiges Holz mit stärkeren Durchmesser bisher noch kaum Verwendungsmöglichkeiten für größere Holzanfälle bestehen. In diesem Zusammenhang wurden zwei Fragen untersucht, die für die großen Hainbuchenvorräte der kaspischen Wälder Bedeutung gewinnen können, nämlich die Herstellung von Sperrholz (aus hochwertigem Stammholz) und von Eisenbahnschwellen (aus geringwertigem, astigem Holz) aus Hainbuchenholz. Hierfür wurden versuchsweise Schäl furniere auf der Rundschälmaschine hergestellt und zu Furnierplatten weiter verarbeitet. Als Grundlage zur Beurteilung der Tauglichkeit von Hainbuchenholz für Eisenbahnschwellen wurden Imprägnierungsversuche mit Teeröl und Schutzsalzen durchgeführt.

4.2.1 Die Eignung des Hainbuchenholzes für die Sperrholzproduktion.

4.2.1.1 Schälversuch

Die Voraussetzung für die Verwendung einer Holzart zur Sperrholzproduktion ist ihre gute Schälbarkeit. Über die Schälfähigkeit der Hainbuche und ihre Eignung zur Herstellung von Furnierplatten liegen bisher sehr wenige Erfahrungsberichte vor. Um hierfür einige brauchbare Hinweise zu erhalten, wurden in Laugna (Fürstl. und Gräfl. Fugger'sches Stiftungsforstamt) zusätzlich zwei Stämme gefällt und aus deren Endstammstücken 85 cm lange Abschnitte entnommen. Der Schälversuch wurde in der Staatlichen Technikerschule in Rosenheim durchgeführt. Die mittlere Rohdichte dieser Stammabschnitte, die an zwei Stammscheiben bestimmt wurde, betrug $0,830 \text{ g/cm}^3$. Ein Stammstück wurde waldfrisch, das andere in gedämpftem Zustand nach 24stündiger Lagerung in der Dämpfgrube geschält (Abb. 42). Doch konnte wegen nicht ausreichender Energiezufuhr in der Dämpfgrube die für die Furnierherstellung übliche Holztemperatur von etwa 80°C nicht erreicht werden, sie betrug vor dem Schälversuch (in halber Stammlänge und 80 mm Tiefe gemessen) lediglich 26°C . Die beiden Stammabschnitte wurden bis zu einer Restrollendicke von 8 cm zu Furnieren von 0,8 und 2,0 mm Dicke rundgeschält. Der ermittelte Durchschnittswert für die Schälkraft (Schnittkraft + Reibungskraft) betrug $8,22 \text{ kp/cm}$ Schällänge, wobei auf die Schnittkraft 5 kp/cm und auf die Reibungskraft $3,22 \text{ kp/cm}$ entfallen. Aus diesen Zahlen ist zu entnehmen, daß der Kraftbedarf zur Schälfurniererzeugung aus der Hainbuche über den Durchschnittswerten für kaltgeschälte Rotbuche liegt. Die Furniere wurden dann in $50 \times 50 \text{ cm}$ große Stücke ge-

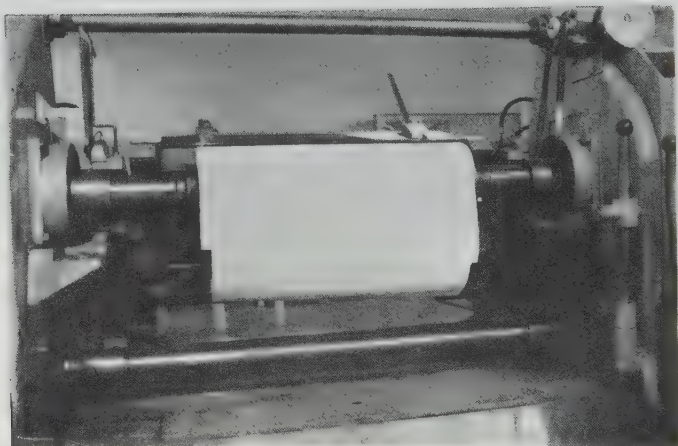


Abb. 42 Schälversuch mit Hainbuchenholz

schnitten, zunächst einige Tage unter Freiluftbedingungen gelagert und später in einem Klimaschrank bis auf 6° Holzfeuchtigkeit getrocknet. Vor und nach der Trocknung wurde die Qualität der Furniere überprüft. Dabei konnte kein nennenswerter Unterschied zwischen den nach unterschiedlicher Vorbehandlung hergestellten Furnieren beobachtet werden, was vermutlich auf den geringen Erwärmungsgrad (26°) der gedämpften Furnierblöcke zurückzuführen ist. Nach H.OSTERFELD (1970) übt nämlich die Temperatur des Schälholzes einen beträchtlichen Einfluß auf die Entstehung von Schälrisen aus. Risse traten nur gelegentlich und dann nur oberflächlich auf. Auffallend große Risse waren nirgends zu erkennen. Ebenso wenig zeigte sich eine stärkere Welligkeit oder ein Verziehen der ganzen Furnierfläche, was die Herstellung von Furnierplatten wesentlich erschwert hätte. Ganz allgemein läßt sich sa-

gen, daß geradschaftige Hainbuchenstämme sich ähnlich gut wie Buchen schälen lassen und Furniere vergleichbarer Qualität ergeben. Eine Beeinträchtigung der Schälbarkeit wäre lediglich bei spannrückigen Stämmen gegeben. Dieser Fehler trat jedoch bei den persischen Probestämmen kaum, bei den geschälten süddeutschen Stämmen nur in geringem Umfang auf.

4.2.1.2 Herstellung von Furnierplatten

Die Herstellung von Furnierplatten und die Prüfung ihrer Festigkeiten wurden im Institut für Holzforschung in München durchgeführt. Als Bindemittel wurde Kaurit-Leim 161 Pulver ohne Härter verwendet, das Pulver wurde entsprechend den Angaben des Merkblattes der Lieferfirma (BASF) in destilliertem Wasser gelöst. Die Furniere wurden lediglich einseitig beleimt, wobei je m^2 160 g Leimflotte aufgetragen wurde. Sodann wurden sowohl die 0,8 mm als auch die 2,0 mm dicken Furniere zu dreischichtigen Platten (3 x 0,8 mm bzw. 3 x 2,0 mm) nach den preßtechnologischen Bedingungen, wie folgt gepreßt:

Preßdruck: 9 kp/cm^2

Preßtemperatur: 90°C

Preßgrundzeit: 5 min.

Durchwärmezeit: 1 min/mm Dicke

Dabei ergab sich für die Platten aus 0,8 mm Furnieren eine Gesamtpreßzeit von 7 min und für die aus 2,0 mm Furnieren von 9 min. Nach dem Preßvorgang wurden die Platten warm aufeinander gestapelt und nach Erreichen einer einheitlichen Temperatur in einer Klimakammer bei $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ und 65 % RLF $\pm$ 3 % klimatisiert. Aus den schwächeren Platten wurden sodann Proben für die Bestimmung der Rohdichte, der Holzfeuchtigkeit sowie der Biegefestigkeit, des Biege-E-Moduls

und der Bruchschlagarbeit herausgeschnitten, während die stärkeren lediglich zur Prüfung der Bindefestigkeit im Zugversuch dienten. Die Ergebnisse von Festigkeitsuntersuchungen an Proben aus relativ schwachen Furnierplatten sind besonders in wirtschaftlicher Hinsicht interessant, da man ja bestrebt sein muß, mit möglichst wenig Holz auszukommen, um billig produzieren zu können.

4.2.1.3 Die Prüfung der Furnierplatten

Verteilung und Abmessungen der Proben für die Rohdichtebestimmung und die Festigkeitsuntersuchung sowie ihre weitere Behandlung und Prüfung richteten sich nach den einschlägigen deutschen Normvorschriften (DIN 52182 = Rohdichte, DIN 52371 = Biegefestigkeit, DIN 53255 = Bindefestigkeit und DIN 68705 = Allgemeine Anforderungen an Sperrholz).

Einschränkend muß allerdings bemerkt werden, daß bei den Biegeprüfungen entsprechend dem Vorschlag von PLATH (1973) die Stützweite kleiner gewählt wurde, um zu erreichen, daß die Proben auf jeden Fall zu Bruch gehen bevor die Durchbiegung zu groß geworden ist. Bei der Beanspruchung der in Faserrichtung der Außenschichten ausgeformten Proben entsprach die Stützweite noch dem in DIN 52371 angegebenen Mindestwert von 100 mm. Bei den quer zur Faserrichtung ausgeformten Proben betrug die Stützweite hingegen nur 72 (30 x 2,4) mm. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 29. Die mittlere Rohdichte der klimatisierten Plattenproben (r_n) entspricht ziemlich genau der Rohdichte des Vollholzes ($r_{12} = 0,830 \text{ g/cm}^3$), sie liegt bei $0,843 \text{ g/cm}^3$.

Für die Biegefestigkeit der Plattenproben, die parallel zur Faserrichtung der äußeren Furnierschichten ausgeformt

wurden, wurde ein arithmetischer Mittelwert von 1309 kp/cm^2 festgestellt. Der aus diesen Proben bestimmte Biege-E-Modul betrug im Mittel $176\,230 \text{ kp/cm}^2$. Diese günstigen Werte übertreffen nicht unbeträchtlich die von R.ÖZEN (1975) für dreischichtige Furnierplatten aus Rotbuche mit gleicher Nenndicke gefundenen Festigkeitswerte von 1205 kp/cm^2 bzw. $145\,551 \text{ kp/cm}^2$.

Auch bei Beanspruchung quer zur Faser ergibt sich für die Sperrholzplatten aus Hainbuche eine bessere Biegefestigkeit als für solche aus Buche (280 gegenüber 245 kp/cm^2); dagegen errechnet sich beim E-Modul ein höherer Wert für die Buchenproben $14\,424 \text{ kp/cm}^2$ gegenüber $12\,603 \text{ kp/cm}^2$ für Hainbuche. KOLLMANN (1962) fand für $1,2 \text{ mm}$ dicke dreischichtige Furnierplatten aus Rotbuche in parallel zur Faser beanspruchten Proben 1230 kp/cm^2 bzw. $138\,000 \text{ kp/cm}^2$ und bei $3,0 \text{ mm}$ dicken Platten entsprechende Werte von 1011 kp/cm^2 bzw. $121\,000 \text{ kp/cm}^2$. Diese Festigkeitswerte werden von den Hainbuchenplatten ebenfalls eindeutig übertroffen.

Auf die Werte der Bruchschlagarbeit braucht nicht näher eingegangen werden, da dieses Merkmal für die Beurteilung der Qualität von Furnierplatten nur von untergeordneter Bedeutung ist. Ganz allgemein ist jedoch zu erwähnen, daß die Festigkeitseigenschaften von Sperrholzplatten von den Vollholzeigenschaften bestimmt werden.

Die im Zugversuch ermittelte durchschnittliche Bindefestigkeit der untersuchten Proben betrug 36 kp/cm^2 und übertrifft damit den in DIN 68 705 für Sperrholzplatten aus Laubbaumarten geforderten Mindestwert von 10 kp/cm^2 , um das $3\frac{1}{2}$ -fache. ÖZEN (1975) fand unter gleichen technologischen und klimatischen Bedingungen (IF 20) für die Bindefestigkeit von Buchenplatten einen noch besseren mittleren Wert, nämlich 50 kp/cm^2 . Der Holzbruchanteil, d.h. der Anteil an den Bruchflächen, an denen nicht der

Tabelle 29 Mittelwerte und Streuungen verschiedener Festigkeitseigenschaften
von Furnierplatten aus Hainbuche

Eigenschaften	Maß- einheit	Mittel- wert	Streuung	Var. Koeff. %	Grenzwerte
Biegefestigkeit parallel zur Faser b.u = 12 %	kp/cm ²	1309	±119	9,1	1185-1696
Biegefestigkeit quer zur Faser b.u = 12 %	"	280	± 24	8,7	234-345
Biege-E-Modul parallel zur Faser b.u = 12 %	"	176 230	±21 477	12,1	145 961-248 439
Biege-E-Modul quer zur Faser b.u = 12%	"	12 603	±1879	14,9	9128-17103
Bruchschlagarbeit b.u = 12 %	cmkp/cm ²	21,5	± 4,2	19,6	14,8-30,1
Bindefestigkeit im Zugversuch IF 20 b.u = 12 %	kp/cm ²	36	± 7,8	22	20,2-48,4

Leim sondern das Holz für den Bruch verantwortlich ist, betrug im Durchschnitt aller Hainbuchenproben etwa 50 %.

4.2.2 Tränkversuche als Voraussetzung für die Verwendung der Hainbuche als Schwellenholz

Hölzerne Eisenbahnschwellen müssen im Gebrauch nicht nur außerordentlichen Druck-, Biege- und Stoßbeanspruchungen standhalten, sondern vor allem auch eine hohe Widerstandskraft gegen angreifende Organismen aufweisen, die eine ausreichende Liegezeit garantiert. Bei leicht verstockenden Hölzern ist dies nur durch eine gründliche Imprägnierung mit chemischen Schutzmitteln zu erreichen.

Da nach den vorstehenden Untersuchungsergebnissen das Hainbuchenholz in seinen mechanischen Eigenschaften den Anforderungen, die an Eisenbahnschwellen gestellt werden, entsprechen dürfte, ist die Möglichkeit seiner diesbezüglichen Verwendung in erster Linie von seiner Tränkbarkeit abhängig. Da hierüber keine ausreichenden Literaturangaben vorliegen, wurde durch Tränkversuche mit Steinkohlenteeröl und mit Schutzsalzlösungen geprüft, ob eine ausreichende Eindringtiefe und Schutzstoffaufnahme mit den üblichen Tränkverfahren bei Hainbuchenholz erreicht werden kann.

4.2.2.1 Teerölimprägnierung

Zusätzlich zu dem bereits ausführlich beschriebenen Versuchsmaterial wurden aus dem nördlichen Gebiet der kaspischen Wälder 2 Probestämme gefällt, aus deren Erdstammstücke je ein ca. 2,80 m langer Abschnitt mit einem Durchmesser von etwa 34 cm gewonnen und Ende 1971 zur Vorbereitung der Tränkversuche an die Firma PFLEIDERER in Neumarkt/Opf., die die Teerölimprägnierung dankenswerterweise durchgeführt hat, transportiert wurde. Aus den beiden Stamm-

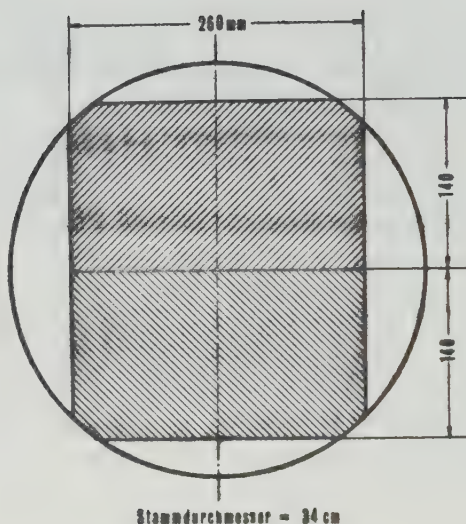


Abb. 43 Schematische Darstellung der Probenentnahme für den Imprägnierungsversuch

stücken wurden zunächst je 2 Schwellen mit den Abmessungen 26 x 14 cm herausgelöst und diese dann nochmals zu Halbschwellen quer geteilt (Abb. 43). Diese 8 Halbschwellen wurden unter Dach im Freien bis zur Tränkreife (25 - 28 % Feuchtegehalt) nachgetrocknet. Vier Schwellenhälften waren für die Teerölimprägnierung, die restlichen für die Schutzsalzimprägnierung vorgesehen. Um einen Vergleich der gewonnenen Ergebnisse mit der Schutzmittelaufnahme von deutschen Hainbuchen sowie der von Rotbuchen zu ermöglichen, stellte mir die Firma PFLEIDERER freundlicherweise

auch einige Halbschwellen dieser beiden Holzarten zur Verfügung. Beim Tränkvorgang wurden in der Versuchsanlage jeweils eine Hainbuchen- und eine Buchenschwellenhälfte gleichzeitig behandelt. Um den Vergleich zwischen den persischen und den deutschen Hainbuchenschwellen zu erleichtern, erhielten die letzteren bei den Auswertungen die Bezeichnung "Weißbuche" im Gegensatz zur persischen "Hainbuche". Um die Teeröleindringung über die zweite Hirnfläche der Halbschwellen zu vermeiden, wurde je 1 Stirnfläche der Halbschwellen mit dem 3-Komponenten-Polyesterharz "Palatal P 65" abgedichtet. Unmittelbar vor der Imprägnierung wurde das Volumen sowie die Holzfeuchte der einzelnen Probestücke genau ermittelt. Da vorhandene Waldkanten meßtechnisch nicht erfaßt werden konnten, wurden sie durch Schätzung berücksichtigt.

Die Imprägnierversuche wurden in einer Versuchsanlage nach der Bundesbahnvorschrift im Doppelrüpingverfahren durchgeführt. Nach der Imprägnierung wurde das Teeröl in der Versuchsanlage genau nachgemessen, um die Höhe seines Verbrauchs zu ermitteln.

Außerdem wurde die Schutzmittelaufnahme der Probeschwellen im einzelnen durch Wägung vor und nach der Tränkung festgestellt. Die Tränkung selbst wurde zu zwei verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt. In der ersten Versuchsserie vom 12. bis 14. Juli 1972 wurden die Schwellen aus der deutschen Weißbuche und Vergleichsstücke aus Rotbuche behandelt und beim zweiten Termin zwischen dem 12. und 15. September 1972 wurde dann die inzwischen zur Tränkreife heruntergetrocknete persische Hainbuche mit den entsprechenden Buchen-Vergleichsschwellen imprägniert.

Die Ergebnisse und alle wichtigen Daten des Teeröltränkversuchs sind in Tabelle 30 festgehalten. Die Teerölaufnahme der deutschen Weißbuche, die bei einer durchschnittlichen Holzfeuchte von 30 % erfolgte, kann als befriedigend

Tabelle 30

Holzart	Holz- feuchte %	Geometrische Länge cm	Breite cm	Werte Höhe cm	Volumen m ³	Gewicht/kg vor Tränkung	Teeröl- auf- nahme kg/m ³	Imprägnier- datum
Rotbuche	23,0	123	25	14	0,0430	32,5	246	12.7.72
Weißbuche*	29,6	125	24	14	0,0420	34,5	188	
Rotbuche	22,6	125	25	14	0,0437	31,7	252	13.7.72
Weißbuche	30,4	126	24	14	0,0423	33,2	187	
Rotbuche	21,9	128	25	14	0,0448	35,8	203	14.7.72
Weißbuche	30,8	125	23,5	14	0,0411	37,8	197	
Rotbuche	23,0	124	25,0	15,0	0,0465	37,3	163	12.9.72
Hainbuche**	19,4	135	24,0	12,5	0,0405	28,4	220	
Rotbuche	23,0	123	25,0	15,0	0,0461	37,6	169	13.9.72
Hainbuche	21,0	136	23,5	13,0	0,0415	30,7	224	
Rotbuche	20,5	125,5	25,0	15,0	0,0471	38,8	195	14.9.72
Hainbuche	21,6	139,5	23,5	13,0	0,0426	34,2	237	
Rotbuche	21,5	124	35,5	15	0,0474	35,4	196	15.9.72
Hainbuche	20,9	140,0	23,0	13,0	0,0428	34,8	224	

* Hainbuche aus Deutschland

** " " Persien

bezeichnet werden, denn die von der Bundesbahn geforderte Sollaufnahme von 175 kg/m^3 (+ 18 kg/m^3 als Ersatz für den Wasserentzug) wurde stets erreicht. Allerdings blieb ihre Teerölaufnahme hinter der von dem bei ca. 22,5 % Feuchtigkeit getränkten Rotbuchenholz aufgenommenen Menge etwas zurück. Bei den späteren Versuchen mit dem inzwischen auf etwa 21 % Feuchtigkeitsgehalt heruntergetrockneten persischen Hainbuchenholz hatte dieses dagegen mehr Schutzmittel aufgenommen als die ungefähr ebenso trockenen Vergleichsproben aus Buche. In allen Fällen aber lag die Teerölaufnahme über der von der Bundesbahn geforderten Mindestmenge. Nach der Imprägnierung wurden die getränkten Versuchsschwellen in Längsrichtung aufgeschnitten, um eine Vorstellung von der Eindringtiefe bzw. der Durchtränkung des Holzes zu gewinnen. Die Ergebnisse wurden photographisch festgehalten (Abb. 44). Im allgemeinen war bei beiden Holzarten eine vollständige Durchtränkung erreicht worden, lediglich bei den deutschen Weißbuchenschwellen war das marknahe Holz nicht voll durchtränkt. Um außerdem festzustellen, in welcher Weise sich die im Holz verbleibenden Teerölanteile an das Gewebe binden, wurden aus einer imprägnierten Hainbuchenschwelle Proben entnommen und daraus nach mehrtägiger Lagerung in Glycerin mit dem Rasiermesser Mikroschnitte angefertigt. Die Untersuchung dieser Schnitte im ungefärbten Glycerinpräparat ergab, daß der erwünschte Effekt des Rüpingverfahrens voll erreicht wurde. Das überschüssige Schutzmittel war aus den Zellhohlräumen abgesogen, nur in Ausnahmefällen waren diese noch mit Teeröl gefüllt. Dagegen hafteten an den Zellwänden, namentlich an denen der Fasertracheiden, stets Reste des Imprägnierungsmittels, so daß die Faserlumina von diesem voll ausgekleidet waren (Abb. 45). Zudem fiel auf, daß das eingedrungene Teeröl in sehr vielen Fällen noch in den Tüpfelkanälen verblieben war, wie aus der Abbildung deutlich zu ersehen ist.

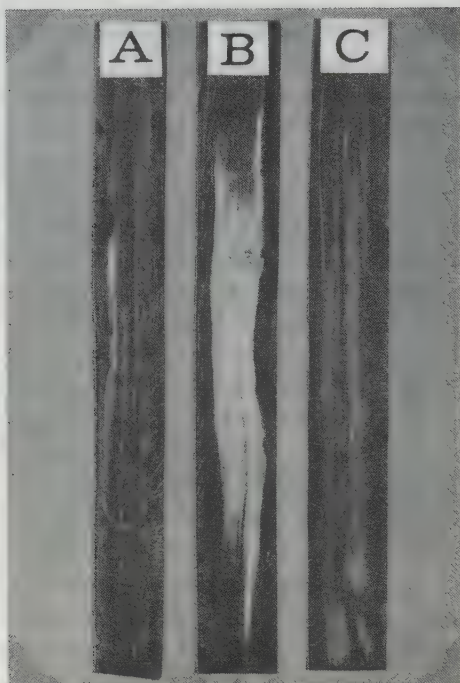


Abb. 44 Eindringtiefe des Teeröls in Halbschwellen aus Hainbuchen- und Buchenholz

A Hainbuche aus Persien

B " " Deutschland ("Weißbuche")

C Rotbuche

4.2.2.2 Schutzsalzimprägnierung

Die vier in Neumarkt/Opf. für die Schutzsalzimprägnierung vorbereiteten Halbschwellen wurden zur Firma Dr.WOLMANN GmbH in Sinzheim bei Baden-Baden transportiert, wo die Schutzsalztränkversuche dankenswerterweise durchgeführt werden konnten. Zur Ergänzung des persischen Untersuchungsmaterials standen 4 Halbschwellen und 9 ganze Schwellen



Abb. 45 Mikroskopisches Bild von teerölimprägniertem Hainbuchenholz

aus Weißbuchen vom westhang des nördlichen Schwarzwaldes zur Verfügung.

Diese Probestämme waren Ende März 1972 gefällt und nach Sinzheim abgefahren worden, wo sodann die Schwellen herausgeschnitten und unter Dach luftig zum Trocknen gelagert wurden. Die Lagerzeit betrug 27 Wochen. Die Tränkung erfolgte mit einer 4%igen Lösung des Schutzsalzes Wolmanit CB.

Vor der Imprägnierung wurde eine Hirnfläche der Halbschwellen mit Bitumen und PVC-Folie abgedichtet, um die Lösungsaufnahme über dieser Schnittfläche auszuschalten. Kurz vor der Imprägnierung wurden alle Schwellen zur Volumenbe-

stimmung vermessen und anschließend gewogen. Die Imprägnierung erfolgte nach den Vorschriften der deutschen Bundespost im Kessel-Vakuum-Druck-Verfahren mit 90 Minuten Vakuum bei 30 Torr und 300 Minuten Lösungsdruck von 8 atü bis zur Vollzelltränkung d.h. einer Lösungsaufnahme von 5 Liter pro Kubikmeter Holzvolumen innerhalb von 15 Minuten. Nach der Imprägnierung wurden alle Schwellen erneut gewogen und aus dem Gewichtsunterschied die Schutzsalzaufnahme pro Kubikmeter Schwellenholz errechnet.

In Tabelle 31 sind alle Daten über Abmessungen, Volumen sowie Lösungs- und Schutzsalzaufnahme der einzelnen Schwellen zusammengestellt. Der Imprägnierungsversuch zeigt, daß sich die persische Hainbuche im tränkreifen Zustand sehr gut mit einer wässrigen Schutzsalzlösung tränken läßt. Die hohe Lösungsaufnahme, im Mittel 504 kg/m^3 , deutet auf eine völlige Durchtränkung des Holzquerschnittes hin. Die mittlere Lösungsaufnahme der deutschen Weißbuche liegt mit 402 kg/m^3 um rund 100 Liter niedriger. Das ist mit Sicherheit darauf zurückzuführen, daß die deutsche Weißbuche nach einer Lagerzeit von 27 Wochen noch nicht über den gesamten Querschnitt tränkreif d.h. entsprechend abgetrocknet war, worauf auch das höhere Schwellengewicht vor der Imprägnierung hinweist.

Auch von den salzimprägnierten Schwellen wurden in der bereits beschriebenen Weise mikroskopische Präparate angefertigt, um damit ein Bild über die Einlagerung des Schutzsalzes in das Hainbuchenholz zu gewinnen. Sichtbare Einschlüsse waren hier im Gegensatz zu dem mit Teeröl imprägnierten Material in den Fasertracheidenlumina und in den Tüpfelkanälen weniger deutlich bzw. nur vereinzelt zu finden. Sehr reichlich traten hingegen tropfenförmige Ablagerungen im Holzstrahlgewebe und im Längsparenchym auf (siehe Abb. 46).

Tabelle 31

Holzart	Geometrische Werte			Volumen m ³	Gewicht/kg vor nach Tränkung	Lösungs- aufnahme kg/m ³	Schuttsalzaufnahme bei einer 4%igen Konzentration
	Länge cm	Breite cm	Höhe cm				
Hainbuche pers. Halbschwelle	131,5	23	14,5	0,044	30,2	52,0	19,80
"	131,0	23	14,0	0,042	30,0	51,6	20,56
"	135,5	23	14,0	0,044	33,6	57,0	21,24
"	135,4	23	14,5	0,045	31,6	53,0	19,0
Weißbuche deutsch Halbschwelle	123	25,3	15,5	0,048	40,8	61,3	17,0
"	123	25,3	15,5	0,048	40,4	62,0	17,96
"	137	25,3	15,6	0,054	46,3	70,0	17,52
"	137	25,3	15,6	0,054	44,8	68,2	17,32
Weißbuche deutsch ganze Schwelle	251	25,3	15,4	0,098	86,7	129,0	17,24
"	268	25,0	15,3	0,103	66,9	104,4	14,56
"	298	25,3	15,8	0,119	70,4	109,0	12,96
"	249	25,2	15,2	0,095	84,0	126,9	18,0
"	248,9	25,1	15,7	0,098	86,8	129,7	17,48
"	251,2	25,6	15,6	0,100	87,9	130,6	17,08
"	260,0	25,2	15,2	0,100	65,5	103,0	15,00
"	262,0	25,6	15,3	0,103	66,1	103,5	14,52
"	294,0	25,0	15,6	0,115	67,6	103,2	12,40

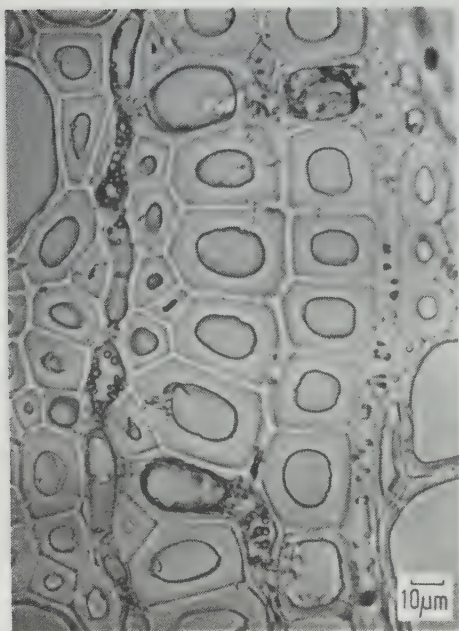


Abb. 46

Mikroskopisches Bild
von salzgetränktem
Hainbuchenholz

Ziel der vorliegenden Imprägnierversuche war, die Kenntnisse über die Verwendungsmöglichkeiten der Hainbuche zu erweitern. Die Imprägnierung schützt die Holzschwelle weitgehend gegen den biologischen Verfall. Aus den Untersuchungen läßt sich erkennen, daß die Hainbuche sowohl für die Teerölimprägnierung als auch Schutzsalztränkung gut geeignet ist. Es dürfte somit dem Einsatz der Hainbuche als Eisenbahnschwellen nichts im Wege stehen. Allerdings müßten die erzielten Ergebnisse durch weitere Versuche noch erhärtet und bestätigt werden.

5. DISKUSSION DER ERGEBNISSE
=====

UND SCHLUSSFOLGERUNGEN
=====

Nachdem vor etwa 12 Jahren die Wälder im Iran verstaatlicht wurden, hat u.a. die wirtschaftliche Nutzung der Holzvorräte und ihre Verwertung für die persische Forstwirtschaft erheblich an Bedeutung gewonnen. Seitdem wendet sich das allgemeine Interesse in verstärktem Maße auch solchen Holzarten zu, die in größerem Umfang an der Bestockung beteiligt sind, bisher aber aus irgendwelchen Gründen noch kaum beachtet und zur Nutzung herangezogen wurden. Vielfach liegt das einfach daran, daß über die Eigenschaften dieser Holzarten nur wenig bekannt ist und daher den Möglichkeiten ihrer Verwendung noch kaum Beachtung geschenkt wurde. Dies trifft besonders für die Hainbuche zu, die in den kaspischen Wäldern des Iran mit einem Bestockungsanteil von nahezu einem Drittel die bei weitem häufigste Baumart ist. Dieser überraschend hohe Anteil ist aber nicht naturgegeben, sondern mit großer Wahrscheinlichkeit die Folge der früheren, sehr extensiven Waldbehandlung, über die genauere Nachrichten fehlen. Bekannt ist aber, daß besonders gesuchte Hölzer, wie vor allem Eiche und Nußbaum, in früherer Zeit in großem Umfang genutzt und exportiert wurden. Die für Exportzwecke nicht geeignete Hainbuche, ursprünglich wohl vor allem als Unter- und Zwischenstand in eichenreichen Laubmischwäldern vorhanden, blieb zurück und bildete den Hauptbestandteil der Nachfolgebestockungen. Ein erheblicher Teil der heute sehr hainbuchenreichen kaspischen Wälder dürfte somit aus wieder zusammengewachsenen aus dem Exploitationsbetrieb verbliebenen Restbestockungen hervorgegangen sein. Dementsprechend ist die Qualität der Hainbuchen in den

kaspischen Wäldern sehr unterschiedlich. Neben Beständen mit guten Schaftformen finden sich häufig schlechte Stammformen und stark astige Stämme sowie geringwertige Stockausschläge. Der sehr hohe Anteil an Starkholz (s. Abb. 8 auf S. 17) weist zudem auf eine Überalterung der Bestände hin, die vor allem in der mangelhaften Erschließung der Gebirgswälder ihre Ursache hat.

In den iranischen Wirtschaftswäldern stehen rund 100 Millionen fm Hainbuchen zur Nutzung heran. Die Verjüngung der hainbuchenreichen Bestände in standortsgemäße hochwertige Mischbestände ist eine vordringliche Aufgabe, deren Bewältigung allerdings zur Voraussetzung hat, daß die großen dabei anfallenden Holzmengen einer geeigneten Verwendung zugeführt werden können. Hierfür ist in erster Linie die Kenntnis der Holzeigenschaften erforderlich. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, diese Holzeigenschaften soweit zu erkunden, daß begründete Vorschläge zur Verwertung der umfangreichen persischen Hainbuchenvorräte abgeleitet werden können.

Das Holz für die Untersuchungen wurde soweit möglich den kaspischen Wäldern entnommen und zwar aus 3 räumlich weit voneinander entfernten Wuchsgebieten. Wegen der erheblichen Transportschwierigkeiten konnten allerdings nur 17 Probestämme in Persien gefällt und hiervon Stammstücke und Stammscheiben nach München geliefert werden. Zur Ergänzung wurden noch einige Probestämme aus süddeutschen Laubwaldgebieten gewonnen. Mit diesem zusätzlichen Material sollte u. a. geprüft werden, ob und inwieweit das iranische Hainbuchenholz mit solchem aus Mitteleuropa in seinen Eigenschaften übereinstimmt und ob die hier vorliegenden Erfahrungen mit der Verarbeitung und Verwendung auch auf persische Verhältnisse Anwendung finden können. In Deutschland wird Hainbuchenholz, das nur in verhältnismäßig geringen Mengen anfällt, meist zu Spezialzwecken verwendet, die im einzelnen in

Abschnitt 4.1.1 aufgeführt sind. Da es sich in Persien aber um ein Massenaufkommen handelt, muß versucht werden, der Hainbuche auch solche Verwendungsgebiete zu erschließen, die große Holzmengen benötigen. In Frage kommen hier vor allem Verarbeitungsformen, für die in Mitteleuropa vorwiegend oder teilweise Rotbuchenholz verwendet wird, wie die Herstellung von bestimmten Lagenhölzern (Spanplatten, Sperrholz-Furnierplatten), von Sitzmöbeln, von Eisenbahnschwellen, sowie von Zellstoff. Es ist also zu prüfen, ob Hainbuchenholz hier in gleicher Weise wie Rotbuche verarbeitet werden kann, bzw. ob seine technologischen Eigenschaften dies wahrscheinlich machen.

Aus diesem Grund wurden bei einigen Untersuchungen (Querdruckfestigkeit, Tränkversuche) auch Rotbuchenproben zum Vergleich mitgeprüft.

Die wichtigste Kenngröße zur Beurteilung der Holzeigenschaften ist die Rohdichte des Holzes. Sie wurde an 15 persischen, sowie an 3 süddeutschen Probestämmen untersucht. Dabei ergab sich, daß die Rohdichtemittelwerte aller persischen und der deutschen Stämme fast genau übereinstimmen; in der Raumdichte liegt das Mittel der persischen Stämme jedoch etwas höher als das der Vergleichsstämme. Daß dabei das persische Probematerial eine weit größere baumweise Streuung als das deutsche aufweist, ist verständlich, wenn man die großen klimatischen Unterschiede berücksichtigt, die zwischen den verschiedenen persischen Wuchsgebieten vorhanden sind. Trotz der Streuung der Einzelstämme zeichnet sich ab, daß in den feuchteren Gebieten schwereres Holz gebildet wird als im trockenen Nordosten, wo auch für die Baumart ausgesprochen niedrige Rohdichtewerte vorkommen. Bei der beschränkten Anzahl von Probestämmen können die errechneten Mittelwerte nur als grober Anhalt betrachtet

werden. Da im übrigen die Probestämme aus dem trockenen Nordosten mit ihrem leichteren Holz in dem untersuchten Probenmaterial gemessen an dem Anteil der Waldflächen überrepräsentiert sind, dürfte der Gesamtmittelwert der Rohdichte für die persischen Hainbuchen mit Sicherheit nicht zu hoch angegeben sein.

Es steht demnach außer Zweifel, daß Hainbuchenholz persischer Herkunft vermöge seiner hohen Dichte für alle Verwendungszwecke geeignet ist, wo besonders Dichte, Härte und Reibungswiderstand gefordert werden. Dabei ist von Vorteil, daß quer zur Stammachse, so wie in verschiedenen Baumhöhen kaum wesentliche Dichteunterschiede auftreten.

Worauf die gefundenen Dichteunterschiede zwischen den Einzelstämmen beruhen, konnte durch mikroskopische Messungen von Wandanteil und Porendurchmesser an Proben unterschiedlicher Dichte nachgewiesen werden. Sie zeigten, daß die Rohdichte nicht nur vom Gefäßanteil abhängt, sondern auch durch Wanddicke und Durchmesser der Faserttracheiden bestimmt wird.

Neben der Rohdichte spielt das hygroskopische Verhalten des Holzes für eine Reihe von Verwendungszwecken eine entscheidende Rolle. Raumquellmaß und Raumschwindmaß verändern sich im großen und ganzen etwa verhältnismäßig mit der Holzdichte, wobei die Hainbuche wie die Rotbuche entsprechend ihrer hohen Rohdichte zu den stark schwindenden Baumarten gehört. Während das Volumenschwindmaß der deutschen Stämme im Durchschnitt 18,42 % beträgt, liegt es bei den persischen Hainbuchen wesentlich niedriger, nämlich um 16 %, und damit sogar unter dem Durchschnittswert für Buchenholz von 17,3 %. Der das Raumänderungsverhalten kennzeichnende Quotient "Volumenschwindmaß : Raumdichte" beträgt für die persischen Stämme nur 27 gegenüber 31,8 für die deutschen. Das heißt, daß die persischen Hainbuchen bei gleicher Rohdichte weniger arbeiten

als diese. Das Arbeiten des Holzes, das zu unangenehmen

Rißbildungen führt, beruht in erster Linie auf seinem ungleichmäßigen Schwinden und Quellen in den drei anatomischen Hauptachsen. Das Verhältnis der Tangential- zur Radialschwindung, das im Durchschnitt der meisten Hölzer etwa dem Wert 2 entspricht, beträgt für die persischen Hainbuchen nur 1,55 und für die deutschen Stämme 1,87. Für dieses unterschiedliche Verhalten ist vor allem eine relativ geringe Tangentialschwindung der persischen Probestämme verantwortlich, durch die auch das geringe Volumenschwindmaß dieser Proben zustande kam.

Den großen stammweisen Rohdichteunterschieden entsprechen auch erhebliche Unterschiede in der Volumenschwindung der Einzelstämme, wobei die Stämme aus den feuchteren Gebieten mit ihren höheren Rohdichten auch höhere Schwindmaße ausweisen. Die statistische Überprüfung ergab im übrigen, daß der Zusammenhang zwischen Rohdichte und Schwindmaß für die persischen Hainbuchen wesentlich enger ist als für die deutschen Stämme.

Um dem Hainbuchenholz eine möglichst vielseitige Verwertung sowohl als Vollholz als auch in Form von Holzwerkstoffen zu erschließen, ist eine genaue Kenntnis seiner mechanischen Eigenschaften notwendig. Für eine Vielzahl von Verwendungszwecken werden an das Holz hohe Anforderungen bezüglich seiner Festigkeit und Stabilität gestellt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden deshalb umfangreiche Festigkeitsprüfungen durchgeführt, die im Durchschnitt durchaus befriedigende Ergebnisse erbrachten. Die Festigkeitswerte werden, wie heute noch üblich, in kp/cm^2 bzw. kpm/cm^2 angegeben. Die in- zwischen eingeführten und in Kürze allgemein vorgeschriebenen Newton-Werte lassen sich daraus nach der Formel $\text{N/cm}^2 = \frac{\text{kp/cm}^2}{9.806}$ bzw. $\text{Nm/cm}^2 = \frac{\text{kpm/cm}^2}{9.806}$ berechnen. Die Festigkeitseigenschaften der persischen Hainbuchen sind im Durchschnitt denen der deutschen Stämme überlegen. Dies gilt für die

Druckfestigkeit wie auch für die statische Gütezahl, das Verhältnis der Druckfestigkeit zur Rohdichte. Die Druckfestigkeit wird in der Regel lediglich parallel zur Faserrichtung geprüft. Bei bestimmten Verwendungszwecken, für die Hainbuchenholz in Frage kommt, wie z.B. im Maschinenbau, vor allem aber bei Eisenbahnschwellen treten aber auch hohe Druckbelastungen quer zur Faserrichtung auf. Aus diesem Grund wurden Querdrukversuche sowohl an persischen und deutschen Hainbuchenproben, wie zum Vergleich auch an Rotbuchenholz durchgeführt. Dabei wurde für die persischen Proben eine mittlere Quetschgrenze bei tangentialer Beanspruchung von 115 kp/cm^2 , bei radialer Beanspruchung von 178 kp/cm^2 ermittelt. Die entsprechenden Werte für die deutschen Stämme betragen 97 kp/cm^2 und 165 kp/cm^2 . Erheblich niedriger sind die Mittelwerte der geprüften Rotbuchenproben mit 73 kp/cm^2 bzw. 127 kp/cm^2 . Hainbuchenholz, insbesondere aber solches persischer Herkunft, ist damit dem Buchenholz bezüglich seiner Querdrukfestigkeit eindeutig überlegen, was vor allem für seine Verwendung zu Eisenbahnschwellen von Bedeutung ist.

Das Buchenholz zeichnet sich durch eine Reihe vorzüglicher technologischer Eigenschaften aus, die ihm außerordentlich vielseitige Verwendungsmöglichkeiten verschaffen. Zu erwähnen ist, daß es sich insbesondere wegen seiner ausgezeichneten Biegefestigkeit nach entsprechender Vorbehandlung für die Herstellung von Möbeln, vor allem Stühlen usw. und anderen gebogenen Holzteilen bestens eignet. Um zu beurteilen, ob das Hainbuchenholz für ähnliche Zwecke verwendbar ist, wurden auch seine Biegefestigkeit und sein Elastizitätsverhalten untersucht. Der höheren Druckfestigkeit der persischen Hainbuchen entsprechen auch höhere Werte für die Biegefestigkeit und den Biege-E-Modul. Die mittlere Biegefestigkeit des persischen Untersuchungsmaterials beträgt 1845 kp/cm^2 und die des E-Moduls $167\,324 \text{ kp/cm}^2$,

sie sind also etwas höher als die Werte von 1230 bzw. 160 000 kp/cm², die in der Literatur (KOLLMANN 1951) für Buchenholz angegeben wurden. Die entsprechenden Zahlen für die deutschen Hainbuchen lauten 1590 bzw. 144 360 kp/cm².

Für eine Reihe von Verwendungszwecken wie z.B. bei der Herstellung von landwirtschaftlichen Geräten, Werkzeugstielen, Sportgeräten, sowie im Möbelbau usw. ist die dynamische Festigkeit eine der entscheidenden Eigenschaften. Bei der Prüfung der Bruchschlagarbeit ergaben sich mittlere Werte derpersischen Proben von 0,83 mkp/cm². und der deutschen von 0,74 mkp/cm². Das Hainbuchenholz der kaspischen Wälder ist damit auch in seiner dynamischen Festigkeit solchem aus Süddeutschland deutlich überlegen, was auch beim Vergleich der mittleren dynamischen Kennzahl (1,30 km gegenüber 1,25 km) noch erkennbar ist.

Vergleicht man die für die Hainbuchen gefundenen Schlagbiegefestigkeiten mit den aus dem Schrifttum bekannten Werten für bestes Rotbuchenholz (v.PECHMANN 1953, 1963), so zeigt sich, daß Hainbuchenholz nicht ganz die Zähigkeit von Rotbuchen erreicht. Doch dürfte die immerhin beachtliche dynamische Festigkeit für die in Frage kommenden Verwendungszwecke voll ausreichen. Ähnlich wie die mittleren Rohdichten unterliegen auch die Stammittelwerte aller Festigkeiten erheblichen Schwankungen. Ein eindeutiger Einfluß der verschiedenen Wuchsgebiete ließ sich im allgemeinen nicht erkennen, wohl nicht zuletzt auch wegen der geringen Zahl der Probestämme aus den einzelnen Untersuchungsgebieten. Die für die einzelnen Herkünfte errechneten Mittelwerte der verschiedenen Festigkeiten und die entsprechenden Ergebnisse der statistischen Untersuchungen für die Beziehung zwischen Festigkeit und Rohdichte sind daher mit gewissen Vorbehalten belastet. Immerhin zeigten sich bei allen Festigkeitsuntersuchungen

gewisse Niveauunterschiede sowohl bei den absoluten als auch bei den rohdichtebezogenen Festigkeitswerten der Probestämme aus den verschiedenen Wuchsgebieten, wobei stets die aus den feuchteren Gebieten stammenden besser abschnitten als die von den trockeneren Standorten. Sieht man von einigen Probestämmen aus dem trockenen nordöstlichen Gebiet der kaspischen Wälder ab, so läßt sich feststellen, daß das aus drei verschiedenen Wuchsgebieten entnommene Hainbuchenholz im Durchschnitt sehr gute, bei einzelnen Stämmen sogar hervorragende Festigkeitseigenschaften besitzt, die in allen Fällen die ebenfalls guten Werte der deutschen Stämme noch übertreffen. Besonders deutlich zeigt sich dies bei den statischen Festigkeiten sowie beim elastischen Verhalten, weniger deutlich bei der Bruchschlagarbeit. Positiv zu bewerten sind dabei die geringen Schwankungen innerhalb der Stämme, d.h. eine über den gesamten Stammquerschnitt und die Höhe sehr einheitliche Festigkeit.

Auf Grund seiner hervorragenden mechanischen Eigenschaften dürfte Hainbuchenholz nahezu für alle Verwendungszwecke in Frage kommen, die bisher dem Buchenholz vorbehalten sind, insbesondere dort, wo hohe Anforderungen an die Festigkeit gestellt werden, wie bei der Herstellung von Werkzeugen, Sportgeräten, Sitzmöbeln, Stielen usw. Auch als Biegeholz dürfte es geeignet sein.

Bei der Verwendung von Eisenbahnschwellen muß das Holz, wie aus den Mitteilungen der Fachzeitschriften der "Studiengesellschaft für Holzschwellenoberbau e.V.", hervorgeht, geringe Längenänderungen und hohen Lochleibungsdruck als Voraussetzung für gute Spurhaltung gewährleisten, sowie eine hohe Biegefestigkeit und Unempfindlichkeit gegen schlagartige Beanspruchungen aufweisen. Entscheidend ist ferner gute Imprägnierbarkeit zur Sicherstellung einer hohen Lebensdauer.

Durch die in Abschnitt 4.2.2 besprochenen Tränkversuche ist

die Imprägnierbarkeit ebenso erwiesen wie die erforderlichen mechanischen Eigenschaften. Der Forderung HEJAZIs (1958), u.a. auch Hainbuchenholz zu Eisenbahnschwellen zu verarbeiten, zumal der Buchenholzvorrat des Iran eine nachhaltige Nutzung in der derzeitigen Höhe nicht gewährleisten kann, ist daher uneingeschränkt beizupflichten.

Weitere, bisher nur wenig beachtete Möglichkeiten für die Verwendung von Hainbuchenholz ergeben sich auf dem Gebiet der Holzwerkstoffe. Über seine Eignung zur Herstellung von Spanplatten liegen aus einigen europäischen Ländern, insbesondere aus der Bundesrepublik, bereits positive Erfahrungen vor. Eigene Versuche zur Überprüfung seiner Verwendbarkeit für die Sperrholzerzeugung versprechen ebenfalls Erfolg. Schälversuche bestätigen, daß auch die Hainbuche, sofern die Stämme nicht stark spannrückig sind, gute Schälurniere zu liefern vermag, aus denen Furnierplatten mit ähnlichen Eigenschaften wie solche aus Buchenholz hergestellt werden können.

Auch über die Herstellung von Zellstoff liegen bereits vielfache Erfahrungsberichte, insbesondere aus Frankreich vor. Aus ihnen kann entnommen werden, daß Hainbuchenholz hochwertige Zellstoffe liefert, wenn die entsprechenden Einrichtungen, insbesondere Trommelentrundungsanlagen zur Verfügung stehen. Der Verarbeitung zu Zellstoff wird somit, vor allem zur Verwertung von Schwachholzanfällen aus dem Ausschlagwald, große Bedeutung zukommen.

Insgesamt haben die vorliegenden Untersuchungen eine Reihe vorzüglicher technologischer Eigenschaften des Hainbuchenholzes nachgewiesen, die ihm eine vielseitige Verwertung ermöglichen. Es ist von gleichmäßiger Struktur und Textur, hart, dicht, druckfest, von ausgezeichneter Biegefestigkeit, ausreichender dynamischer Festigkeit, gut imprägnierbar usw. Diesen positiven Eigenschaften, die den Gebrauchswert des Hainbuchenholzes praktisch dem des Buchenholzes gleichsetzen,

stehen aber auch einige Mängel gegenüber, z.B. sein hohes Schwindmaß das allerdings geringer ist als das der Rotbuche und seine geringe Dauerhaftigkeit, die jedoch durch seine gute Tränkbarkeit ausgeglichen werden kann. Da das Hainbuchenholz als sehr anfällig gegen Verstocken gilt, ist unbedingt darauf zu achten, daß die Stämme immer möglichst schnell nach der Fällung aufgearbeitet werden und ein gleichmäßiger, zügiger Trocknungsablauf gewährleistet ist. Werden diese Vorsichtsmaßnahmen eingehalten, so dürfte einer vielseitigeren Verwendung des Hainbuchenholzes kaum etwas im Wege stehen.

LITERATURVERZEICHNIS

- | | | |
|-------------------------------|------|---|
| ADELI, E. | 1972 | Die Wälder Persiens. Allg.Forst-
zeitschrift 27.Jg., H. 7, S. 124-127 |
| ADL, A.H. | 1960 | Klima de l'Iran, Teheran, Iran
(persisch) S. 46-87 |
| v.AUFSESS, H. | 1973 | Mikroskopische Darstellung des Ver-
holzungsgrades durch Färbemethoden.
Holz als Roh- u.Werkstoff Jg. 31,
S. 24-33 |
| BAUER, H.R. | 1973 | Entwicklungstendenzen in der Span-
platten- u.Sperrholzindustrie u.
deren Holzverbrauch in deutscher u.
auch internationaler Sicht.
Dissertation, Freiburg |
| BAUMANN, R. | 1922 | Die bisherigen Ergebnisse der Holz-
prüfungen in der Materialprüfanstalt
an der Technischen Hochschule Stutt-
gart. Verlag des Vereins deutscher
Ingenieure, Berlin |
| BEGEMANN, H.F. | 1966 | Lexikon der Nutzhölzer. Vorkommen,
Charakteristik u.Verwendung der im
Welthandel vorkommenden Nutzhölzer.
Verlag Kittel, Mering b.Augsburg |
| BERNHART, A.N. | 1963 | Untersuchungen über Rohdichte u.
Struktur von Fichtenholz aus dem
Bayerischen Wald.
Dissertation, München |
| BOBEK, H. | 1951 | Die natürlichen Wälder u.Gehölz-
fluren Irans. Im Selbstverlag des
Geographischen Instituts der Uni-
versität Bonn |
| BOBEK, H. u.
SPREITZER, H. | 1955 | Klima und Landschaft Irans in vor-
u.frühgeschichtlicher Zeit. Geogra-
phischer Jahresbericht aus Öster-
reich Bd. 25, Geographisches Insti-
tut der Universität Wien |
| BRAUN, H.J. | 1970 | Funktionelle Histologie der sekun-
dären Sprossachse. I.Das Holz
Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stutt-
gart |

- | | | |
|--|------|---|
| BUSCHBECK, L.,
KEHR, E. u.
JENSEN, U. | 1961 | Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten u. Sortimente zur Herstellung von Spanplatten. 1. Mitt. Rotbuche u. Kiefer. Holztechnologie 2. Jg., H. 2, S. 99-110 |
| BURGER, H. | 1949 | Holz, Blattmenge u. Zuwachs X. Mitt., Die Buche. Mitt. Schweiz. Forstl. Versuchswesen Bd. XXVI, S. 419-468 |
| DJAZIREI, M.H. | 1962 | Formations Forestières de l'Iran |
| FRANK, F. | 1954 | Deutsche Holzwirtschaft, Herford 8(118) |
| GABER, E. | 1940 | Druckversuche quer zur Faser an Nadel- u. Laubhölzern. Holz als Roh- u. Werkstoff, 3. Jg., S. 222-226 |
| GHELMESIU, N. u.
ISTRATE, V. | 1960 | Structura și indicii Proprietăților fizice și mecanice ale lemnului de Carpen. (Der Aufbau des Weißbuchenholzes u. die Kennziffern seiner physikalischen u. mechanischen Eigenschaften) Ind. Lemn., Buc. 11, 2, 49-56 |
| GIORDANO, G. | 1942 | La Rivista Forestale Italiana Anno IV-N. 11-12 |
| GINZEL, W.,
SAAL, S.M. u.
STEGMANN, G. | 1969 | Beitrag zur Erzeugung von Halbzellstoffen aus Laubholz in wasserglasshaltigem, alkalischoxydierendem Medium. Holzforschung Bd. 23, S. 152-163 |
| GLÄSER, H. | 1959 | Development of Forestry Utilization and Forest Industries in Iran, and the Demonstration Forest and Training Centre Lowe, S. 36 |
| GLÄSER, H. | 1968 | Briefliche Mitteilung an YACHKASCHI zitiert nach YACHKASCHI, A., 1968 |
| GÖHRE, K. u.
WAGENKNECHT, E. | 1955 | Die Roteiche u. ihr Holz
Deutscher Bauernverlag, Berlin |
| GOTTWALD, H. | 1958 | Handelshölzer. Ihre Benennung, Bestimmung u. Beschreibung
Ferdinand Holzmann Verlag, Hamburg |
| GREGUSS, P. | 1959 | Holzanatomie der Europäischen Laubhölzer u. Sträucher.
Akademiai Kiado Budapest |

- | | | |
|--------------------------------|---------------|---|
| GRÖSSLER, W. | 1943 | Holztechnologische Untersuchungen an Hochgebirgsbuchen. Holz als Roh- u. Werkstoff 6. Jg., S. 81-86 |
| GÜRSU, I. u.
BERNHART, A.N. | 1963 | Struktur- u. Eigenschaftsvergleiche an Traubeneichenholz verschiedener Herkunft. Sonderdruck aus Forstw. Cbl.82, (7/8), S. 193-256 |
| HEJAZI, R. u.a. | 1958 | Study on Railway Sleepers in Iran Forestry and Wood Technology Laboratory |
| HEJAZI, R. | 1969 | Wood Technology and Wood Industries Volume I, Wood Structure |
| HEJAZI, R. | 1969 | Wood Technology and Wood Industries Volume II, Wood Properties |
| HEJAZI, R. | 1969 | Wood Technology and Wood Industries Volume III, Exploitation, Sowing, Seasoning and Preservation |
| HEJAZI, R. | 1969 | Wood Technology and Wood Industries Volume IV, Forest Products |
| HESKE, F. | 1951 | Weltforstatlas. Herausgegeben von der Bundesforschungsanstalt für Forst- u. Holzwirtschaft Hamburg-Reinbeck, Verlag Paul Parey, Hamburg u. Berlin |
| Iranische Forst-
verwaltung | 1965 | Forststatistik, Iran, Teheran (persisch) |
| Iranische Forst-
verwaltung | 1966,
1968 | Statistische Untersuchungen über die Nordwälder des Irans. Ingenieurbüro des Ministeriums f.Naturschätze (persisch) |
| Iranische Forst-
verwaltung | 1963-
1968 | Forsteinrichtungswerke der Betriebs-
einheiten der Nordwälder des Iran:
RECK, KILESARA, GOLBAND, SANGDEH
(persisch) |
| Iranische Forst-
verwaltung | 1972 | Programm über Schutzaufforstung und Nutzung der persischen Wälder für die Jahre 1973-1977 (Fünftes Entwicklungsprogramm des Landes), Ministerium für Landwirtschaft u.Naturschätze (Organisation für Wald und Weide) (persisch) |

- | | | |
|------------------------------|---------------|--|
| JANKA, G. | 1909 | Untersuchungen über die Elastizität u. Festigkeit der österreichischen Bauhölzer. III. Mitt. forstl. Versuchswesen. Österreich, H. XXXV. Wien |
| JANKA, G. | 1915 | Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Österreichs. Die Härte der Hölzer. K.u.K.Hof-Buchhandlung W.Frick, Wien |
| KEHR, E. u.
SCHILLING, W. | 1965 | Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten u. -sortimente zur Herstellung von Spanplatten. 7. Mitt. Eiche, Aspe, Pappel, Hainbuche, Ulme, Lärche sowie als Vergleichsholzarten Fichte u. Kiefer. Holztechnologie 6. Jg., H. 4, S. 225-232 |
| KEYLWERTH, R. | 1955 | Statistik bei der Holzprüfung Holz als Roh- u. Werkstoff, 13. Jg. S. 169 |
| KEYLWERTH, R. | 1962 | Untersuchung über freie u. behinderte Quellung von Holz. Holz als Roh- u. Werkstoff, 20. Jg. S. 252 |
| KLAUDITZ, W. | 1952 | Untersuchungen über die Eignung von verschiedenen Holzarten, insbesondere von Rotbuchenholz zur Herstellung von Holzspanplatten. Institut für Holzforschung an der Technischen Hochschule Braunschweig, Bericht 25 |
| KLAUDITZ, W. | 1962 | Zur Entwicklung u. zum Stande der Holzspanplattenherstellung 1955-1961. Institut für Holzforschung an der Technischen Hochschule Braunschweig, Bericht 74 |
| KNIGGE, W. u.
SCHULZ, H. | 1966 | Grundriss der Forstbenutzung Entstehung, Eigenschaften, Verwertung u. Verwendung des Holzes u. anderer Forstprodukte. Verlag Paul Parey, Hamburg u. Berlin |
| KNUCHEL, H. | 1943-
1944 | Untersuchungen über das Raumgewicht u. das Schwindmaß schweizerischer Hölzer. Mitt. der Schweizerischen Anstalt für das forstl. Versuchswesen. Bd. XXIII, 1/2. Heft, S. 471 Kommissionsverlag von Beer u. Cie., Buchhandlung |

- KÖSTLER, J. 1950 Waldbau. Grundriß u. Einführung als Leitfaden zu Vorlesungen über Bestandesdiagnose u. Waldtherapie Verlag Paul Parey, Berlin u. Hamburg
- KOLLMANN, F. 1941 Die Esche und ihr Holz. J.Springer Verlag, Berlin
- KOLLMANN, F. 1951 Technologie des Holzes u. der Holzwerkstoffe. Bd. 1, Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, München
- KOLLMANN, F. 1960 Verformung u. Fließen bei Querdrukbelastung von Holzwürfeln. Sonderdruck aus "Materialprüfung" Bd. 2, Nr. 8, S. 289-294
- KOLLMANN, F. 1962 Furniere, Lagenhölzer u. Tischlerplatten. Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg
- KOLTZENBURG, CH. 1974 Aufkommen u. Verwendung von Buntlaubhölzern in der Bundesrepublik Deutschland. Teil II: Verwendung von Buntlaubhölzern
- KRAMÁR, A. u. 1970 Die Kohlenhydrate des Holocellulose-
EBRINGEROVÁ, A. rückstandes nach der Stufenextraktion von Hemicellulosen aus dem Holz der Hagebuche (*Carpinus betulus*) Svensk Papperstidn. 73, Nr. 9, S. 287-290
- KÜHNE, H. u.a. 1955 Über den Einfluß von Wassergehalt, Raumgewicht, Faserstellung u. Jahrringstellung auf die Festigkeit u. Verformbarkeit schweizerischen Fichten-, Tannen-, Lärchen-, Rotbuchen- u. Eichenholzes. Eidgenössische Materialprüfungs- u. Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen u. Gewerbe, Zürich, Bericht Nr. 183
- LANGENKAMP, R. 1931 Das Raumgewicht des Rotbuchenholzes im Rohholzstamm
Dissertation, Hann. Münden

- LAZARESCU, C. u.a. 1963 Cercetari pentru Stabilirea posibilitătilor de industrializare a lemnului de Carpin in cherestea, Parchete, lazi, butoaie, furnir si placaje. (Untersuchungen über die Möglichkeiten einer industriellen Verwertung des Weißbuchenholzes für Schnittware, Parkett, Kisten, Fässer, Furniere u. Sperrholz) Stud.Cerc., Inst.Cerc.For. Buc. 23-B, S. 189-205
- LENGYEL, P. u. 1970 Semi-chemical Pulp from hornbeam
HAJDUCZKY, I. and beech. Timber Bulletin for Europe. 22, 6, S. 538-553
- LINDER, A. 1951 Statistische Methoden. Für Naturwissenschaftler, Mediziner u. Ingenieure. 4.unveränderte Auflage, Birkhäuser Verlag, Basel u. Stuttgart
- MAYER-WEGELIN, H. 1954 Eigenschaften u. Verwendung von Eichen- u. Buchenholz. Österr. Forst- u. Holzwirtschaft 9, 10, S. 241-246
- MOBAYEN, S. u. 1970 Guide pour la carte de la vege-
TREGUBOV, V. tation naturelle de l'Iran Université de Teheran
- MONNIN, M. 1932 L'essai des bois. Kongreßbuch Zürich. Int.Verb.Mat.Prüf., Zürich
- NIERAT, J.M. 1970 Ecorçage et découpage du charme en vue de la fabrication de la pâte à papier. Supplement 6 to Volume XXII of the Timber Bulletin for Europa S. 573-585
- NILLOFARI, P. 1961 Structure, Identification, Defects and Uses of the Iranian Timbers. Textbook of Wood Technology vol.1
- ÖZEN, R. 1975 Habilitationsschrift über: Furnierplatten aus verschiedenen Holzarten (unveröffentlicht)
- OSTERFELD, H. 1970 Festschrift zur Einweihung des neuen Studiengeldes Rosenheim

- v.PECHMANN, H. 1953 Untersuchungen über die Bruchschlagarbeit von Rotbuchenholz Holz als Roh- u. Werkstoff Bd. 11, S. 361-367
- v.PECHMANN, H.,
v.AUFSESS, H. u.
BERNHART, A.N. 1963 Die Holzeigenschaften der Rotbuche im inneren Bayerischen Wald. Forstw. Cbl. 82, S. 12-27
- PLATHE, E. 1973 Bestimmung der Biegefestigkeit dünner Holzwerkstoffe. Beitrag zur Neufassung einiger DIN-Normen. Holz als Roh- u. Werkstoff 31. Jg., S. 397-402
- SABETI, H. 1966 Native and exotic Trees and Shrubs of Iran (persisch)
- SABETI, H. 1969 Les Etudes Bioclimatique de l'Iran Publication de l'Université de Téhéran Nr. 1231 (persisch)
- SAIE, K. 1942 Die Wälder Persiens - Iran, Teheran (persisch)
- SANDERMANN, W. 1963 Chemische Holzverwertung. BLV Verlagsges. München, Basel, Wien
- SARIKHANI, N. 1971 Die Forstwirtschaft im Iran Der Forst- u. Holzwirt 26. Jg., H. 24, S. 483-485
- SCHALCK, J. 1967 Über die Rohdichte u. Festigkeit des Schwarzkiefernholzes (Pinus nigra Arnold) u. den Zusammenhang zwischen Rohdichte u. Holzstruktur untersucht an belgischen Aufforstungsbeständen. Verlag Paul Parey, Hamburg u. Berlin
- SCHAEFFER, F. u.
SCHACHTSCHABEL, P. 1970 Soil Survey Staff, Soil classification, 7 th. approximation. Soil Conservation Service, US Dept. Agric. 1960. (zitiert aus dem Lehrbuch der Bodenkunde, 7. Auflage, Enke, F. Verlag, Stuttgart)
- SCHULZ, H. 1957 Der Anteil der einzelnen Zellarten an dem Holz der Rotbuche. Holz als Roh- u. Werkstoff, 15. Jg., S. 113-118

- | | | |
|---|---------------|---|
| SCHULZ, H. | 1974 | Zur künftigen Spanplattenproduktion u. Holzbedarfsdeckung der Spanplattenindustrie. Allg. Forstzeitschrift, 29. Jg., H. 42 |
| SCHWENKE, K.-Th. | 1956 | Untersuchungen über die Holzeigenschaften von Eschen verschiedenen Alters u. Standortes. Dissertation, Hann. Münden |
| STAUDACHER, E. | 1942 | Waldfrisches Holz der Fichte, Tanne, Lärche, Buche u. Eiche. Schweizerische Bau- u. Werkhölzer, Bd. XXII, H. 2 |
| STEGMANN, G. u.
v. BISMARCK, C. | 1968 | Verarbeitung von Laubhölzern für die Spanplattenherstellung. Holzforschung u. Holzverwertung, 20. Jg., H. 1, S. 1-11 |
| SUENSON, E. | 1937-
1938 | Zulässiger Druck auf Querholz. Holz als Roh- u. Werkstoff, 1. Jg., H. 6, S. 213-216 |
| TABATABAI, M.,
SOLEYMANI, P.,
NAGHDI, F., u.
DAWANLU, S. | 1965 | Bois de l'Iran Betulaceae et Corylaceae |
| TAHBAS, J. | 1967 | Bericht über die Wälder Persiens an Planorganisation. Teheran (persisch) |
| de La TOUCHE, B. | 1965 | Well-Known Calaisienne Mill Adds Kraft Pulping. Neue Sulfratzellstofffabrik in Calais. Paper Trade 149. Jg., Nr. 12, S. 34-35 |
| TREGUBOV, V. | 1961 | Politique de Developement Forestier. Raport an Gouvernement de l'Iran Rome, FAO, S. 12-15 |
| TREGUBOV, V. | 1967 | Umwandlung der Wälder der Berg- u. Hügelstufen am Kaspischen Meer im Iran durch waldbauliche Behandlungen. München XIV. IUFRO-Kongreß, S. 559-578 |
| TRENDELENBURG, R. | 1934 | Untersuchungen über das Raumgewicht der Nadelhölzer. Tharandter Forstl. Jb. Bd. 85 |

- TRENDELENBURG, R. 1939 Über Fasersättigungsfeuchtigkeit, Schwindmaß u. Raumdichtezahl wichtiger Holzarten. Holz als Roh- u. Werkstoff, 2. Jg., H. 1, S. 12-17
- TRENDELENBURG, R. 1955 Das Holz als Rohstoff. Carl Hanser u. MAYER-WEGELIN, H. Verlag, München
- VOLK, K. 1974 Die Buntlaubhölzer in Südbaden. Allg. Forstzeitschrift, 29 Jg., H. 45
- VORREITER, L. 1949 Holztechnologisches Handbuch. Bd. 1: Allgemeines, Holzkunde, Holzschutz u. Holzvergütung. Verlag Georg Fromme u. Co., Wien
- v. WEDEL, K. 1964 Untersuchungen über Eigenschaften, Verwertung u. Verwendung des Ahornholzes. Dissertation, Hann. Münden
- YACHKASCHI, A. 1968 Forstliche Verhältnisse im Iran, Probleme u. Lösungsvorschläge. Dissertation, Hann. Münden
- YACHKASCHI, A. 1971 Wald und Menschen im Iran. Der Forst- u. Holzwirt, 26 Jg., H. 24, S. 485-487

LEBENS LAUF

=====

Am 21. 6. 1933 wurde ich in Teheran/Iran geboren. Von 1940-1947 besuchte ich die Volksschule und anschließend die Oberschule bis zum Abitur im Jahre 1953.

Während der folgenden 2 Jahre absolvierte ich meine Wehrdienstzeit und arbeitete danach in der Firma meines Schwagers als Kaufmann. 1961 kam ich nach Deutschland, um zunächst die deutsche Sprache zu erlernen bevor ich im Jahr 1963 das Studium der Forstwissenschaft an der Albert-Ludwigs-Universität in Freiburg i.Br. aufnahm. Im Wintersemester 1963/1964 setzte ich mein Studium an der Ludwig-Maximilians-Universität in München fort und legte hier am 12. 3. 1970 die Hochschul-Schlußprüfung als Dipl. Forstwirt ab.

Seit 1971 arbeitete ich unter Leitung von Professor Dr. Freiherrn von Pechmann, dem Direktor des Institutes für Holzkunde und Forstnutzung der Forstlichen Forschungsanstalt München an meiner Dissertation.

difo-druck · 8600 bamberg
untere königstraße 30